
ПРИРОДА
1 '11

В НОМЕРЕ:

CONTENTS:

Климат будущего: взгляд из настоящего

И.Л.Кароль, А.А.Киселев

«О климате не говори, о нем все сказано», — так, перефразируя некогда популярную песню, возможно, воскликнет какой-нибудь нетерпеливый читатель. Действительно, изменение современного климата — столь важная для всех проблема, что ее обсуждение регулярно происходит на представительных форумах, в правительственных и научных кругах, она часто освещается всегда готовыми откликнуться журналистами. Однако ввиду своей чрезвычайной сложности эта проблема вряд ли будет окончательно решена в ближайшем будущем. Человечество вплотную подошло к той опасной черте, когда его хозяйственная деятельность непосредственно влияет на климат — не только локальный, но и глобальный. Этот факт зафиксирован в ряде интернациональных соглашений, в частности, в Рамочной конвенции об изменении климата 1992 г. В 2005 г. международное сообщество ввело в действие Киотский протокол, регламентирующий выбросы парниковых газов (главного фактора, ответственного за глобальное потепление) в последующие десятилетия. Читатели, вероятно, помнят развернувшуюся в нашей стране ожесточенную полемику о целесообразности подписания данного документа. Но протокол — в действии, а проблема осталась. Согласно экспертным оценкам, даже скрупулезное выполнение протокольных ограничений не в состоянии не только остановить глобальное потепление, но и хотя бы заметно сократить его темпы. А значит, для достижения этой цели необходимы более действенные коллективные меры, которые предстоит обсудить, выстрадать и принять. Как показала недавняя Копенгагенская конференция по климату, сделать это будет очень непросто.



Игорь Леонидович Кароль, *доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией Главной геофизической обсерватории им.А.И.Воейкова. Специалист в области моделирования климата, фотохимических и радиационных процессов в атмосфере. Многие годы занимается проблемами атмосферного озона.*



Андрей Александрович Киселев, *кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела динамической метеорологии той же обсерватории. Область научных интересов — фотохимические процессы в атмосфере.*

Осторожно, газы!

Итак, эмиссия парниковых газов в атмосферу. К моменту вступления в силу Киотского протокола сложилась картина, представленная на рис.1. Отметим резкое увеличение интенсивности выбросов парниковых газов в первые четыре года XXI в. (в среднем 2.32% в год), последовавшее за приблизительно линейным их трендом в два предшествовавших десятилетия (в среднем 1.14% в год). Для того чтобы уни-

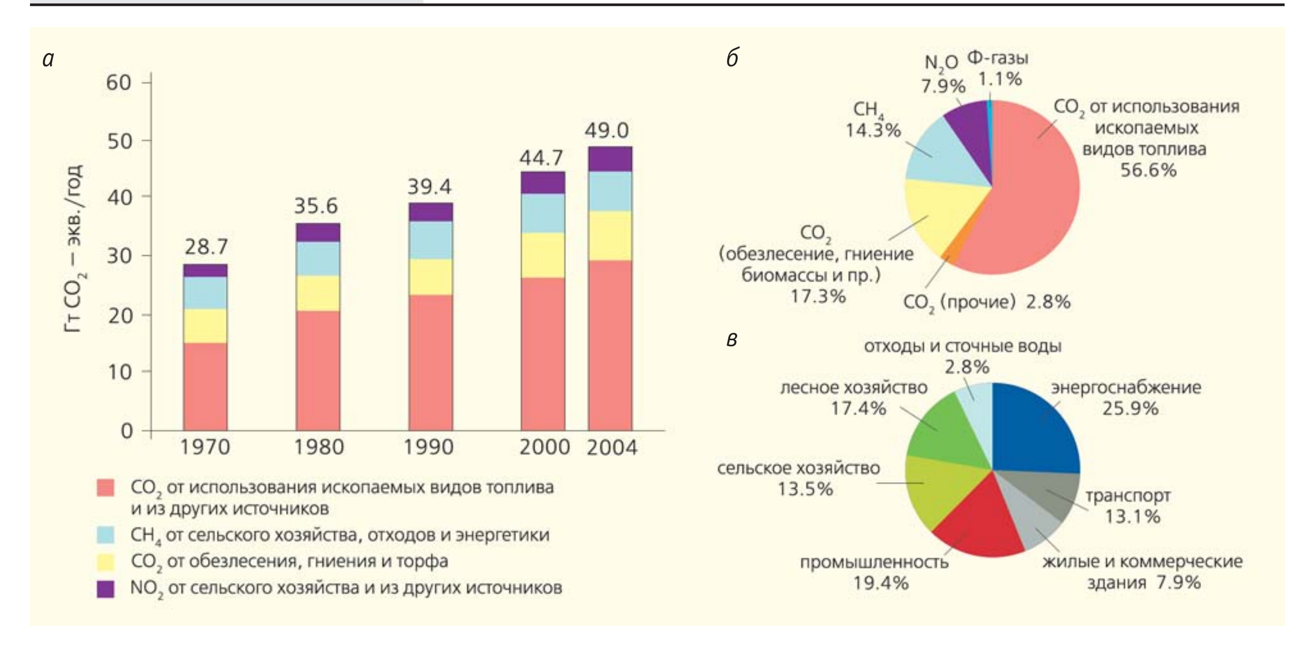


Рис.1. Глобальные антропогенные выбросы парниковых газов [1]: *а* — в период 1970—2004 гг.; *б, в* — доля в суммарных выбросах в 2004 г.: *б* —различных антропогенных парниковых газов; *в* — различных секторов хозяйственной деятельности (лесное хозяйство включает обезлесение).

фицировать выбросы различных парниковых газов, обычно используется специфическая единица измерения — эквивалентный выброс CO_2. «Эквивалентный выброс CO_2 — это объем выброса CO_2, который вызвал бы такое же комплексное радиационное воздействие за данный период времени, как и объем выброса любого долгоживущего парникового газа или смеси парниковых газов» [1]. Эквивалентный выброс CO_2 получается умножением объема выброса парникового газа на его потенциал глобального потепления за данный период времени. Потенциал характеризует, во сколько раз молекула парникового газа (CH_4, N_2O или др.) эффективнее поглощает радиацию по сравнению с молекулой CO_2. Подробнее о потенциале глобального потепления рассказано в одной из наших статей, опубликованных в «Природе» [2]. CO_2 — основной парниковый газ, его доля в общем антропогенном выбросе таких газов составляет примерно три четверти. «Виновники» же их эмиссии — различные секторы мировой экономики, вклады которых соизмеримы, хотя наибольший приходится на энергетику.

Не нужно обладать сколько-нибудь серьезными познаниями, чтобы сообразить, какие страны лидируют по выбросам парниковых газов в атмосферу. Конечно же, там, где максимальны объемы производства, там и его издержки больше. На рис.2 показан вклад крупнейших экономик в общемировой выброс парни-

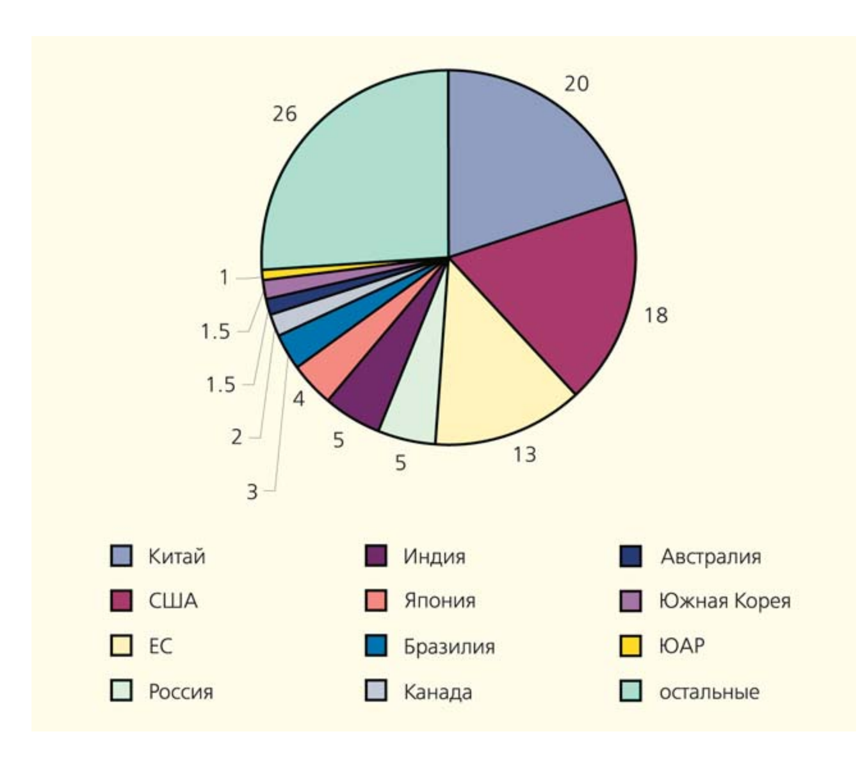


Рис.2. Доля стран в общемировом выбросе парниковых газов (%) в первом десятилетии XXI в.

Таблица

Изменение выбросов антропогенных парниковых газов с 1990 по 2008 г. (без их учета при землепользовании и в лесном хозяйстве) [3]

Страна	Изменение за 1990–2007 гг., %	Выбросы в 2008 г., млн т в экв. CO_2	Изменение за 1990–2008 гг., %
Австралия	+29.3	549.5	+31.3
Великобритания	–16.9	631.7	–18.5
Германия	–22.3	958.0	–22.2
Испания	+53.8	405.7	+42.3
Италия	+6.9	541.5	+4.7
Канада	+26.8	734.4	+24.1
Россия	–34.1	2228.8	–32.9
США	+16.5	6924.5	+13.3
Украина	–52.5	427.7	–53.9
Франция	–5.5	531.8	–6.1
Япония	+7.9	1281.8	+1.0

ковых газов в начале XXI в. Однако представленная диаграмма передает лишь качественную картину, поскольку процентное соотношение несколько менялось от года к году, а в 2008 г. произошло по-своему знаменательное событие: Китай, опередив по величине выбросов многолетнего лидера — США, возглавил эту малопочетную гонку [3]. Тем не менее очевидно, что за приблизительно половину общемировой эмиссии парниковых газов ответственны три современных экономических гиганта — Китай, США и страны Европейского Союза. На долю десятка прочих развитых стран (в том числе России) приходится около четверти эмиссии, а оставшаяся четверть отражает вклад «остального мира».

В соответствии с существующими правилами ежегодно в секретариат Рамочной конвенции по изменению климата поступают национальные доклады об эмиссии парниковых газов. В таблице представлены выборочные сведения об изменении выбросов в 2007 и 2008 гг. (относительно уровня 1990 г.) для стран-участников Киотского протокола [3], чьи выбросы превысили 400 млн т в экв. CO_2/год. Исключение составляют США, которые, как известно, принимали участие в разработке положений Киотского протокола, но в дальнейшем его не подписали. Напомним, что изменение эмиссии парниковых газов по сравнению с выбросами 1990 г. не должно превосходить для стран ЕС и Великобритании −8%, Канады и Японии −6%, России и Украины 0%, Австралии +8%. Достаточно даже беглого взгляда на таблицу, чтобы убедиться: не так много стран могут похвастаться выполнением взятых на себя обязательств. Впечатляют успехи в сокращении выбросов парниковых газов Украины и России. Однако не секрет, что достигнуты они главным образом в результате сворачивания производства и разрыва экономических связей после развала СССР. Благополучны Германия, Великобритания, с некоторой натяжкой, Франция… Все, список исчерпан! В то же время сравнение II и IV столбцов таблицы показывает, что большинство стран сократило выбросы парниковых газов в 2008 г. Экономический кризис, однако! Несвязанные Киотскими обязательствами и обладающие известной экономической автономией Китай и Индия, напротив, наращивали эмиссию парниковых газов. Так, согласно публикации в ежегодном статистическом сборнике по мировой экономике, в 2009 г. выбросы парниковых газов в Китае увеличились на 9% и достигли 7500 млн т в эквиваленте CO_2.

Подведем краткий итог. Среди стран-участников Киотского соглашения наметилась тенденция к уменьшению эмиссии парниковых газов (хотя график его выполнения заметно расходится с утвержденным). Два крупнейших эмитента — Китай и США — вне Киотского договора, США при этом сокращают выбросы, а Китай их интенсивно увеличивает. И главное: ограничения, заложенные в Киотский протокол (что с Китаем и США, что без них), недостаточны для значительного снижения темпа глобального потепления, не говоря уже о его прекращении.

Мы строили, строили и наконец...

Самое время строить планы на будущее. Читатели постарше наверняка помнят практиковавшееся в СССР пятилетних «планов громадье» с последующими помпезными победными реляциями. Давно нет СССР. Закончилась эпоха пятилеток? Отнюдь! Идею убить нельзя! И вот уже правительства мировых держав строят планы светлого (незагрязненного) будущего для атмосферы сроком на 10 лет. К 2020 г. предполагается сокращение выбросов парниковых газов относительно 1990 г.: США — на 4% (на 17% относительно

2005 г.), ЕС — на 20—30%, Россией — на 15—25%, Японией — на 25%, Австралией — на 2—22% (на 5—25% относительно 2005 г.), Новой Зеландией — на 10—20%. Список можно продолжать. Канада же могла бы увеличить эмиссию на 3%, но, если считать относительно 2005 г., она должна сократить ее на 17%.

Так что же, засучим рукава и за работу? Не совсем так. В большинстве случаев реализация заявленных планов (по крайней мере это касается верхней границы указанных интервалов) увязана с условием непременного принятия обязательств о существенных сокращениях другими развитыми и развивающимися странами. Справедливости ради заметим, что США намереваются реализовать свою программу независимо от каких-либо внешних условий. Россия здесь — наряду с условием принятия обязательств по сокращению выбросов всеми крупнейшими эмитентами — настаивает на надлежащем учете потенциала ее лесов как поглотителя углекислого газа. Условия, согласитесь, справедливые. Но еще небезызвестный монтер Мечников отмечал, что «согласие есть продукт при полном непротивлении сторон». Мучительное многолетнее принятие Киотского протокола, равно как и непринятие каких-либо дальнейших шагов по сокращению эмиссии парниковых газов в Копенгагене порождают сомнение в скорейшем отыскании устраивающего всех компромисса.

А что же Китай и Индия? Нет, они не остались в стороне и, в свою очередь, планируют уменьшить к 2020 г. (относительно 2005 г.) углеродоемкость (соотношение количества выбрасываемых в атмосферу парниковых газов на единицу произведенного) на соответственно 40—45% и 20—25%. Зачем понадобилась такая необычная единица отсчета? Любой мало-мальски опытный статистик подтвердит, что результат подсчета почти полностью зависит от того, *как* считать. Если вспомнить, что представляла собой экономика КНР по сравнению с экономиками развитых европейских стран и США в 1990 г., и учесть рывок, совершенный ею за два последних десятилетия, станет ясно, что сопутствующее росту экономики увеличение эмиссии парниковых газов за этот период исчисляется несколькими сотнями процентов. Признавать это неприятно, однако… Например, доли современных выбросов парниковых газов Китаем и США близки — 20 и 18% (рис.2), но население Китая примерно в четыре раза больше. Составив пропорцию, легко убедиться, что на каждого американца приходится масса выброшенных парниковых газов в 3.6 раза большая, чем на одного жителя Поднебесной. И если поставить этот факт во главу угла, то, скажите, какая из стран должна объявить своей приоритетной задачей сокращение эмиссии? Правильно, США! Другой аргумент китайской стороны заключается в следующем. Изготовленные в Китае товары поставляются и продаются по всему миру. Таким образом, потребности населения, скажем, Германии или тех же США отчасти удовлетворяются китайскими товарами, а значит, эти страны экономят на эмиссии парниковых газов, которую им пришлось бы осуществить, производись все товары на их территории. Следовательно, необходим перерасчет выбросов парниковых газов в пользу Китая. Аргументы аргументами, но, судя по вышеприведенным планам, в Китае понимают: энергозатратность их экономики должна быть значительно снижена.

Но природе нет дела до способов подсчета и политических игр. И неважно, китайский ли это килограмм парниковых газов, американский или европейский. Важен лишь общий объем выбросов. Размер и здесь имеет первостепенное значение!

Как сделать, чтобы политики «были в курсе»

«Если бы директором был я» — такая рубрика еще недавно с успехом практиковалась многими СМИ. Давайте и мы попробуем представить себя на месте политика, которому предстоит отстаивать национальные интересы и принимать решения в жесткой дискуссии со своими коллегами из других стран на конференции, подобной Копенгагенской.

Итак, нам необходимо понять, как будет меняться климат в будущем, чем такие изменения чреваты, нужно ли что-то предпринимать и какова «цена вопроса». Пригласим экспертов, чтобы узнать их мнение. И чем дольше мы слушаем уважаемых специалистов, тем менее ясной становится картина. Кто-то объясняет наблюдаемое глобальное потепление антропогенными причинами, кто-то, напротив, считает, что воздействие человека на климат ничтожно. Один ратует за неотложные меры для противодействия потеплению, другой полагает, в этом нет нужды, напоминая, что в истории Земли случались и бóльшие потепления. Но это только «цветочки», а далее идут прогнозы на ближайшую и отдаленную перспективу. Подобные прогнозы делают, как известно, с помощью сложных климатических моделей [4, 5]. И вот докладчики демонстрируют десятки карт, графиков, диаграмм с модельными результатами — здесь и температура, и осадки, и скорости ветра, и геопотенциал, и какие-то совсем непонятные характеристики. Дабы окончательно не утонуть в деталях, интересуемся, нельзя ли указать не более одного-двух понятных даже неспециалисту критериев, по которым можно судить о состоянии климатической системы в целом. «Можно», — бодро отвечают специалисты и… приводят добрый десяток индексов — радиационный форсинг, потенциал глобального потеп-

ления, потенциал глобальной температуры, эффективность воздействия на климат и т.д. и т.п., отмечая преимущества и недостатки каждого из них по сравнению с другими. Встреча заканчивается. «Грустно, девицы», — мог бы повторить Великий комбинатор, но какое-то решение надо принимать. И нам остается только, опираясь на наше субъективное мнение (мнение неспециалиста!), выбрать того (или тех) эксперта, чьи суждения показались нам наиболее взвешенными, и назначить его (их) «любимой женой», следуя в дальнейшем в фарватере его (их) представлений.

Климатология строится главным образом на данных регулярных наблюдений. Длина рядов таких данных сегодня составляет лишь несколько десятилетий, а наиболее продолжительного — лет 150. Только в последние годы стали возможны комплексные модельные исследования. И хотя прогресс климатических моделей очевиден, возможности их пока далеко не безграничны. Для создания целостной взаимонепротиворечивой системы сведений (данных мониторинга и модельных результатов) еще не хватает. Их нехватка восполняется множеством различных гипотез — от строго обоснованных до весьма экстравагантных. Большинство из них (кроме заведомо недобросовестных) имеет право на жизнь — в конце концов, науке единомыслие противопоказано. Однако уже сегодня результаты труда климатологов представляют практический интерес. А это означает, что должны существовать общепринятые простые подходы и критерии, позволяющие заинтересованным лицам — политикам, бизнесменам, журналистам — понимать и использовать накопленную климатическую информацию. В частности, вернемся к вопросу об индексах, характеризующих отклик климатической системы на какие-либо возмущения. Как упомянуто выше, существует около десятка таких индексов. Каждый из них удобен для определенного рода исследований, но, как правило, не универсален [6]. И все же, на наш взгляд, наиболее подходящий — радиационный форсинг (воздействие) $\Delta F = F_{возм} - F_{невозм}$. Здесь F — разность потоков коротковолнового и длинноволнового излучения на уровне тропопаузы, чутко реагирующая на различные природные явления и катаклизмы, будь то крупные извержения вулканов или лесные пожары, усиление солнечной активности или массовый выброс в атмосферу парникового газа. Рассматривается разность величины F в возмущенном ($F_{возм}$) и невозмущенном ($F_{невозм}$) состояниях. По существу радиационный форсинг представляет собой аналог частной производной. Несомненное его преимущество перед большинством «конкурентов» в том, что он позволяет выделить вклад каждого из изучаемых факторов. Например, сравнить вклад в глобальное потепление метана и закиси азота или загрязнения атмосферы аэрозолями от хозяйственной деятельности и в результате извержения вулкана. Однако этот индекс имеет и недостатки [2]. Но многолетнее знакомство с международной научной периодикой показывает, что его используют значительно чаще, чем прочие индексы.

Дороги, которые мы выбираем

Строить планы все же несравненно легче, чем претворять их в жизнь. Какие же пути видят специалисты для противоборства с глобальным потеплением? К сожалению, достижения быстрого эффекта ждать не приходится. Даже при полном прекращении выбросов парниковых газов изменение климата будет продолжаться в течение нескольких веков [7] — так велика инерция системы. Наш удел поэтому — постепенно, шаг за шагом, способствовать улучшению экологической ситуации, и, что психологически очень важно, мы должны видеть плоды своих усилий. С этой целью М.Молина с коллегами [8] рассматривают несколько возможных «быстрых акций», направленных на смягчение глобального потепления. Предполагается, что их подготовка займет два-три года. Еще 10—15 лет понадобится для их реализации. Результаты же скажутся спустя несколько десятилетий.

Первая из таких быстрых акций — расширение и ужесточение ограничений Монреальского протокола. Напомним, что документ регламентирует производство и выбросы в атмосферу озоноразрушающих хлор-, фтор- и бромсодержащих химикатов. В период с 1990 по 2010 г. благодаря действию Монреальского протокола [9] в атмосферу не было выброшено парниковых газов в размере около 135 млрд т в эквиваленте CO_2. Сегодня измерения уже подтверждают начавшееся восстановление озонового слоя (в основном в полярных областях). Модельные исследования показывают, что содержание озона в атмосфере вернется к уровню 1990 г. ближе к середине XXI в. [1]. Другая большая группа химикатов — гидрофторокарбоны — не разрушает атмосферный озон, но, как и хлорфтор- и гидрофторхлоруглероды, относится к парниковым газам с очень высоким потенциалом глобального потепления (ПГП), в сотни и тысячи раз превышающим потенциал углекислого газа, равный единице. Общий вклад этих химикатов пока невелик — около 1.1% (Ф-газы на рис.1,*б*), но рост выбросов гидрофторокарбонов в атмосферу происходит очень быстро. Предлагается ускорить выведение из обращения гидрофторхлоруглероды и создать стимулы для замещения гидрофторокарбонов на газы с более низкими ПГП. Такая работа уже ведется. В частности, спустя лишь не-

сколько недель после выхода директивы специальной комиссии Европарламента в 2006 г. некоторые химические компании анонсировали отказ от использования HFC-134a (CH_2FCF_3) с ПГП = 3300 (для 20-летнего периода) в автомобильных кондиционерах и переход на хладагенты с ПГП < 5 ($C_3H_2F_4$ или естественные гидрокарбоны).

Вторая быстрая акция связана с сокращением эмиссии сажи, образующейся при неполном сжигании природного топлива и биомассы. Сажа снижает альбедо Земли (долю отраженной солнечной радиации), тем самым способствуя ее дополнительному нагреву. В областях, покрытых снегом и льдом, — в полярных регионах, Гренландии, на Гималайско-Тибетском леднике и др., — это ускоряет таяние льдов. В атмосфере сажа поглощает солнечную радиацию и разогревает окружающий воздух. Одновременно, попадая в облака, она несколько изменяет процессы формирования облачности и также отражает солнечную радиацию в космос. По оценкам М.Якобсона [10], глобальное потепление на 15—30% обусловлено именно эмиссией сажевых частиц. Результат от уменьшения выбросов сажи может сказаться очень быстро, поскольку время ее жизни в атмосфере не превосходит нескольких недель. Значительный эффект дает снижение эмиссии сажи при работе дизельных двигателей [8]. Соответствующие соглашения могут быть заключены, например, между странами Арктического региона или между США и Мексикой.

Третья быстрая акция заключается в уменьшении содержания озона (токсичного парникового газа) в тропосфере. Он образуется в ходе различных фотохимических реакций. Наиболее эффективно — в загрязненной атмосфере, богатой предшественниками озона: окисью углерода, окислами азота, метаном и др. С доиндустриальной эпохи концентрация тропосферного озона выросла приблизительно на треть, а его вклад в глобальное потепление составляет примерно пятую часть от вклада CO_2 [1]. Сократить содержание тропосферного озона можно и посредством совершенствования технологий, включая судовождение и авиацию [8]. Если бы удалось уменьшить вдвое эмиссию CO и NO_x, вклад тропосферного озона в глобальное потепление снизился бы на 10—20% [1].

Наконец, четвертая быстрая акция ориентирована на улучшение методов ведения лесного хозяйства и землепользования. Претворение ее в жизнь не требует каких-либо международных согласований, хотя, конечно, использование накопленных наработок (в том числе и зарубежных) можно только приветствовать. Данная акция особенно важна для России, обладающей огромными лесными угодьями.

Заметим, цель всех быстрых акций — снижение уровня загрязнения атмосферы или увеличение атмосферного стока главного парникового газа CO_2. Совершенно иной подход исповедуется в идее создания аэрозольного сернокислого экрана (геоинжениринг), высказанной еще в 1970-х годах выдающимся отечественным климатологом М.И.Будыко. Суть ее такова. Сернокислый аэрозоль в атмосфере (в отличие от сажи) не поглощает солнечную радиацию, а только отражает ее обратно в космос. Следовательно, его присутствие в атмосфере благоприятствует сокращению притока тепла к поверхности Земли, за которым и должно последовать похолодание. Кроме того, ввиду отсутствия поглощения солнечной радиации сернокислым аэрозолем не будет разогреваться окружающий воздух. Заметное (около 1°C) похолодание, наблюдаемое примерно в течение полутора-двух лет после крупных извержений вулканов, сопровождаемых эмиссией большой массы сернокислого аэрозоля в атмосферу, подтверждает правильность этой идеи. Эффективность такого экрана критически зависит от высоты его расположения. Дело в том, что в тропосфере сернокислый аэрозоль не может задержаться надолго. Он вымывается осадками и оседает на поверхность Земли под действием силы тяжести. Зато характерное время его пребывания в стратосфере исчисляется годами. Казалось бы, все просто: помести необходимое количество сернокислого аэрозоля в стратосферу, и глобального потепления как не бывало. Но, увы, придется вспомнить и об эксклюзивном месте нахождения бесплатного сыра. Во-первых, для создания такого экрана понадобится производить большое количество сернокислого аэрозоля (речь идет о десятках мегатонн) и организовать доставку его «по месту назначения». И это отнюдь не разовая акция. Модельные расчеты показывают, что необходимо регулярно поддерживать существование экрана в поясах, покрывающих, как минимум, две трети площади поверхности земного шара [11], что, кстати, возможно лишь при достижении соответствующего международного соглашения. Более того, приняв к исполнению создание аэрозольного экрана, мы в дальнейшем не сможем от него отказаться, так как по оценкам А.В.Елисеева и И.Н.Мохова [12], все быстро вернется на круги своя, причем темп глобального потепления станет превосходить тот, который был до появления экрана. Во-вторых, еще из школьной программы известно, что «ничто не возникает из ничего и не исчезает бесследно». Рано или поздно выброшенный в стратосферу сернокислый аэрозоль транзитом через тропосферу вернется к поверхности Земли. И его возвращение будет сопровождаться нарушением режима осадков, а также заметным изменением уровня *p*H вод Мирового океана. Воплощение идеи

геоинжениринга далеко не безобидно. Принятию взвешенного решения в этом случае должна предшествовать всесторонняя научная экспертиза.

* * *

Проблема изменения глобального климата — одна из самых сложных и насущных проблем в XXI в. Ее полное решение вряд ли достижимо в обозримом будущем. Однако это не повод праздно дожидаться лучших времен. Шаги, предпринимаемые сегодня, скажутся лишь спустя значительное время, и очень важно сделать эти шаги в правильном направлении, чтобы не усугубить проблему для будущих поколений.

Очевидно, пришло время коллективных международных решений. Первый подобный опыт получен в ходе разработки и принятия Киотского Протокола — документа очень важного, хотя и недостаточно эффективного. Главный результат его введения в действие заключается именно в накоплении опыта при поиске компромиссных решений в условиях серьезного конфликта экономических интересов. «Завтра — великий враг сегодня», — говорил французский писатель и ученый XIX в. Э.Лабуле. Необходимо как можно скорее заключать новые международные соглашения по климату. Их отсутствие тормозит реализацию планов правительств по сокращению эмиссии парниковых газов.

В то же время, когда речь заходит о выборе средств во исполнение намеченных планов, уместно следовать русской поговорке «поспешая, не торопись». Практически все предыдущие попытки активно воздействовать на окружающую среду оканчивались неудачей. Безусловно, всем новым планируемым подобным акциям должна предшествовать тщательная всесторонняя экспертиза.

Изменения климата еще долго будут в центре внимания не только специалистов, но и каждого из нас. Несмотря на все блага цивилизации, мы очень зависимы от все чаще выкидываемых климатических фортелей. Аномальная жара, приключившаяся в европейской части России в июле—августе 2010 г., служит маленькой иллюстрацией к сказанному и, уверены, «подогреет» интерес к проблемам климата даже у самого нетерпеливого читателя.■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 08-05-00778.

Литература

1. Изменения климата, 2007 г. // Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по Изменению климата / Ред. Р.К.Пачаури, А.Райзингер и др. Женева, 2007.
2. *Кароль И.Л., Киселев А.А.* Оценка ущерба «здоровью» атмосферы // Природа. 2003. №6. С.25—30.
3. Изменение климата // Бюллетень Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. 2010. №6(15); http://meteorf.ru
4. *Кароль И.Л., Катцов В.М., Киселев А.А., Кобышева Н.В.* О климате по существу и всерьез. СПб., 2008.
5. *Кароль И.Л., Киселев А.А.* Климатическая модель: инструмент или игрушка? // Природа. 2009. №5. С.25—31.
6. *Кароль И.Л., Киселев А.А., Фролькис В.А.* Индексы факторов, формирующих разномасштабные изменения климата // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2011 (в печати).
7. *Matthews H.D., Caldeira K.* Stabilizing climate requires near-zero emissions// Geophysical Research Letters. 2008. V.35. L04705. doi:10.1029/2007GL032388.
8. *Molina M., Zaelke D., Madhava Sarma K. et al.* Reducing abrupt climate change risk using Montreal Protocol and other regulatory actions to complement cuts in CO2 emissions // The Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2009. V.106. №49. P.20616—20621.
9. *Velders G.J.M., Andersen S.O., Daniel J.S. et al.* The importance of the Montreal Protocol in protecting climate // The Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2007. V.104. №12. P.4814—4819.
10. *Jacobson M.J.* Atmospheric Pollution: History, Science, and Regulation. N.Y., 2002.
11. *Фролькис В.А., Кароль И.Л.* Моделирование влияния параметров стратосферного аэрозольного экрана на эффективность компенсации парникового потепления глобального климата // Оптика атмосферы и океана. 2010. Т.23. №8. С.710—722.
12. *Елисеев А.В., Мохов И.И.* Эффективность предотвращения потепления климата с использованием контролируемых аэрозольных эмиссий в стратосферу: оценки с климатической моделью ИФА РАН // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2009. №2. Т.45. С.232 — 244.
13. *Мелешко В.П., Катцов В.М., Кароль И.Л.* Опасный соблазн // Экология и жизнь. 2010. №2. С.44—51.

Магнитные сердца Вселенной

Рентгеновские пульсары глазами космических обсерваторий

С.С.Цыганков, А.А.Лутовинов

Из тысячелетней истории визуальных наблюдений человечество знает об активности космического пространства, одно из проявлений которой — сияние огромного количества звезд на ночном небе. Известно также, что светила живут не вечно и рано или поздно умирают, становясь невидимыми для человеческого глаза. Судьба потухших звезд до недавнего времени оставалась загадкой для земных наблюдателей.

До середины прошлого столетия ученые имели возможность исследовать излучение, приходящее из космоса, только в радио- и оптическом диапазонах частот, поскольку на остальных длинах волн электромагнитное излучение эффективно поглощается атмосферой Земли. Ситуация изменилась с началом освоения человеком космического пространства. В частности, в 60-е годы прошлого века, когда были запущены первые ракеты с детекторами, регистрирующими фотоны с короткой длиной волны, удалось открыть ярчайший рентгеновский источник в нашей Галактике — Скорпион X-1 [1]. Последовавшие за этим открытием наблюдения и теоретические разработки показали, что наиболее вероятный источник энергии для таких объектов — аккреция (падение вещества в сильном гравитационном поле компактного объекта) [2]. Эффективность энерговыделения при данном процессе может



***Сергей Сергеевич Цыганков,** кандидат физико-математических наук, научный сотрудник отдела астрофизики высоких энергий Института космических исследований РАН. Награжден Медалью РАН для молодых ученых в области общей физики и астрономии (2007). Область научных интересов — рентгеновская и гамма-астрономия, физика аккреции на релятивистские объекты.*



***Александр Анатольевич Лутовинов,** кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела астрофизики высоких энергий того же института. Лауреат Премии Фонда содействия отечественной науки лучшим кандидатам наук (2006). Занимается рентгеновской и гамма-астрономией, исследованиями релятивистских объектов, структуры Галактики.*

составлять около 10% от массы покоя падающего вещества ($E \approx 0.1mc^2$), что в сотни раз превосходит эффективность энерговыделения в термоядерных реакциях. При этом аккрецирующее вещество разогревается до нескольких миллионов градусов, а максимум спектра его излучения приходится на рентгеновский диапазон энергий.

В настоящий момент на околоземной орбите работает сразу несколько космических обсерваторий, регистрирующих рентгеновские фотоны (с энергией от 0.2 до 100 кэВ) и обладающих высоким временным, энергетическим и угловым разрешением: рентгеновская обсерватория им.Бруно Росси RXTE (NASA, с 1995 г.), обсерватория гамма-лучей ИНТЕГРАЛ (ESA, Роскосмос, с 2002 г.), рентгеновская и гамма-миссия для изучения гамма-всплесков «Swift» (NASA, с 2004 г.), рентгеновская обсерватория «Suzaku» (NASA, JAXA, с 2005 г.). Такое количество научных спутников позволяет не только оперативно следить за отдельными компактными объектами, но и выполнять обзоры всего неба за относительно небольшой промежуток времени.

Жизнь после смерти

Люди привыкли считать, что биение сердца как признак жизни присуще исключительно живым организмам. Наблюдаемые проявления жизни объектов, о которых ниже пойдет речь, очень напоминают биение человеческого сердца, и многие важнейшие их свойства можно исследовать с помощью «кардиограмм», получаемых космическими рентгеновскими обсерваториями. Это становится возможным, если источник излучения — рентгеновский пульсар, т.е. нейтронная звезда с очень сильным магнитным полем, входящая в состав двойной системы с обычной оптической звездой-компаньоном.

Для иллюстрации на рис.1,*а* показана зависимость интенсивности излучения от времени (так называемая кривая блеска) рентгеновского пульсара 4U 0115+63, расположенного в нашей Галактике. А на рис.1,*б* представлена кардиограмма здорового человека. Видно, насколько похожи эти две характеристики жизнедеятельности таких разных объектов, как человек и «умершая» звезда — рентгеновский пульсар.

Источник рентгеновского излучения Центавр X-3 стал первым объектом на небе, от которого орбитальная обсерватория «Uhuru» в 1971 г. зарегистрировала периодический сигнал, подобный изображенному на рис.1,*а*. К настоящему моменту в нашей и соседней с ней галактиках известно более сотни таких «сердец» — рентгеновских пульсаров в двойных системах. Их исследования дают неоценимую информацию о поведении вещества и излучения в условиях сверхсильных гравитационных и магнитных полей, которые никогда не будут достижимы в земных условиях.

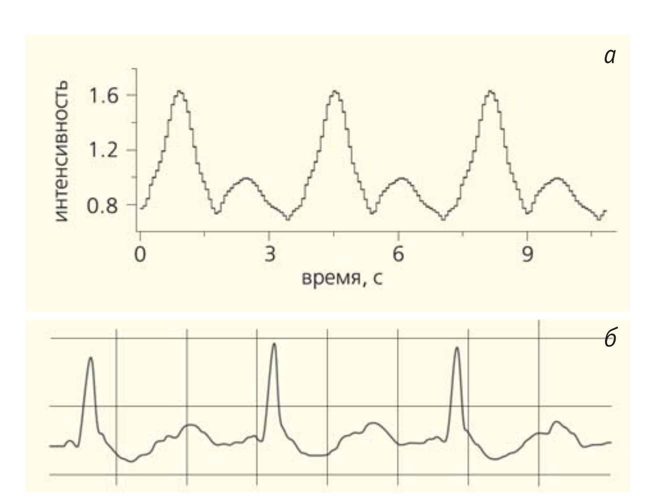


Рис.1. Две «кардиограммы». Кривая блеска рентгеновского пульсара 4U 0115+63 в диапазоне энергий 11—17 кэВ по данным орбитальной обсерватории RXTE. Период пульсаций (один оборот нейтронной звезды вокруг своей оси) составляет около 3.6 с. Повторяющиеся с таким периодом кривые называются профилем импульса (*а*). Настоящая кардиограмма — последовательность электрических импульсов, связанных с работой сердца здорового человека. Характерная частота пульса около одного сокращения в секунду (*б*).

Что же такое рентгеновские пульсары?

В 30-х годах XX в., сразу после открытия нейтрона, ученые предположили, что во Вселенной могут существовать очень плотные холодные объекты — нейтронные звезды. Свое название они получили из-за того, что значительную часть их объема составляют именно нейтроны. Образуются такие звезды в результате гравитационного сжатия (коллапса) ядер массивных звезд (масса которых больше 8—10 масс Солнца) на финальной стадии их эволюции и имеют колоссальную плотность ($\sim10^{14}$ г/см^3, что сравнимо или даже превышает плотность в атомных ядрах). Происходит подобный коллапс после выгорания термоядерного топлива (элементов периодической таблицы Менделеева легче железа) в их недрах, когда излучение больше не может противодействовать гравитационному сжатию звезды и в равновесии такой объект может поддерживаться только давлением вырожденного нейтронного газа.

Из простых соображений можно оценить важнейшую характеристику нейтронных звезд — напряженность магнитного поля. В процессе коллапса радиус оптической звезды-прародителя уменьшается примерно в 100 тыс. раз и в итоге составляет всего около 10 км. При этом в первом приближении магнитное поле сохраняет дипольную конфигурацию, характерную для обычных звезд. Звезды-прародители ранних спектральных классов O и B (очень горячие молодые звезды, в миллионы раз ярче нашего Солнца) могут обладать магнитными полями от нескольких десятков до нескольких тысяч гаусс; для сравнения, магнитное поле Солнца составляет ~1 Гс. Таким образом, предполагая магнитный поток сохраняющейся величиной ($\Phi \sim BR^2 = \text{const}$, где B — напряженность магнитного поля, R — радиус звезды) и используя приведенные выше величины, мы можем оценить напряженность магнитного поля компактного остатка после коллапса в 10^{11}—10^{13} Гс.

В зависимости от того, имеется ли рядом обычная оптическая звезда или нет, нейтронные звезды делятся на два основных класса — одиночные и двойные системы. Одиночные нейтронные звезды, как правило, проявляют себя как источники периодического *радио*излучения — радиопульсары. Феномен же *рентгеновского* пульсара возможен только в том случае, когда в процессе коллапса двойная система не разрушается и вещество с обычной звезды-компаньона начинает перетекать на вращающуюся нейтронную звезду с сильным магнитным полем. Если аккрецирующее вещество обладает значительным моментом коли-

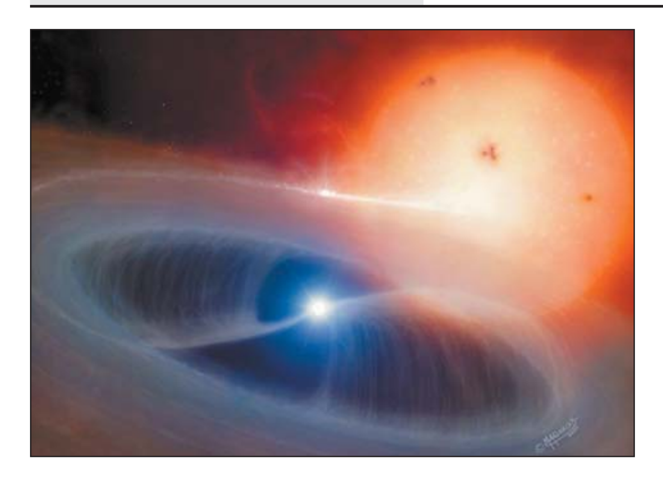


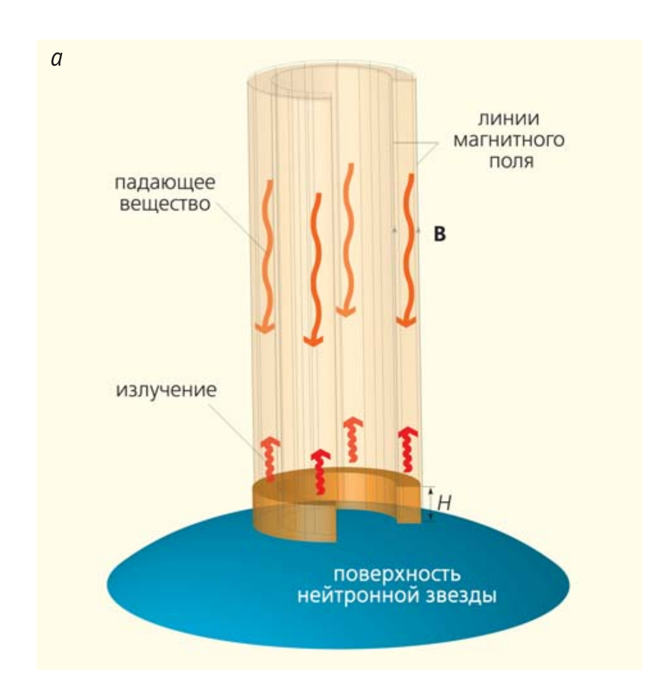
Рис.2. Вид рентгеновского пульсара с аккреционным диском. На заднем плане показана оптическая звезда-компаньон. Вещество перетекает на компактный объект через аккреционный диск и магнитосферные течения (показаны на рисунке).

Рисунок художника M.Garlick (www.space-art.co.uk)

чества движения (что реализуется при перетекании вещества через внутреннюю точку Лагранжа), то падать на компактный объект напрямую оно не может и образует так называемый аккреционный диск, в котором и теряет излишки момента в результате действия сил трения (см., например, [2] и рис.2, а также рис.6,*а* и 7).

Благодаря высокой напряженности магнитного поля вокруг нейтронной звезды вещество со звезды-компаньона в процессе падения тормозится на так называемой альвеновской поверхности (поверхности, где давление магнитного поля уравновешивает давление падающего вещества — по ней проходит граница магнитосферы нейтронной звезды $R_м$) и «вмораживается» в магнитное поле. Дальше оно уже падает вдоль силовых линий на магнитные полюса нейтронной звезды, фактически формируя две горячие области вблизи ее поверхности (рис.2, 3, 6,*а*). Из-за малой скорости вмораживания вещество проникает в магнитное поле на небольшую глубину, много меньшую $R_м$. По этой причине канал аккреции вблизи поверхности нейтронной звезды имеет форму тонкостенной оболочки цилиндра — колонки (см. рис.3). Если же оптическая звезда обладает достаточно сильным звездным ветром, аккрецируемое вещество будет заполнять всю полость колонки.

Как уже упоминалось выше, в процессе падения вещество разогревается до миллионов градусов и излучает в рентгеновском диапазоне длин волн. В случае, если ось вращения нейтронной звезды не совпадает с ее магнитной осью, внешний наблюдатель будет регистрировать на кривой блеска импульсы, различающиеся по форме и наличию особенностей в зависимости от конкретных физических и геометрических условий как вблизи поверхности нейтронной звезды, так и на пути распространения сигнала. Периоды обращения нейтронных звезд вокруг своей оси для известных рентгеновских пульсаров составляют от долей секунды до нескольких сотен секунд.



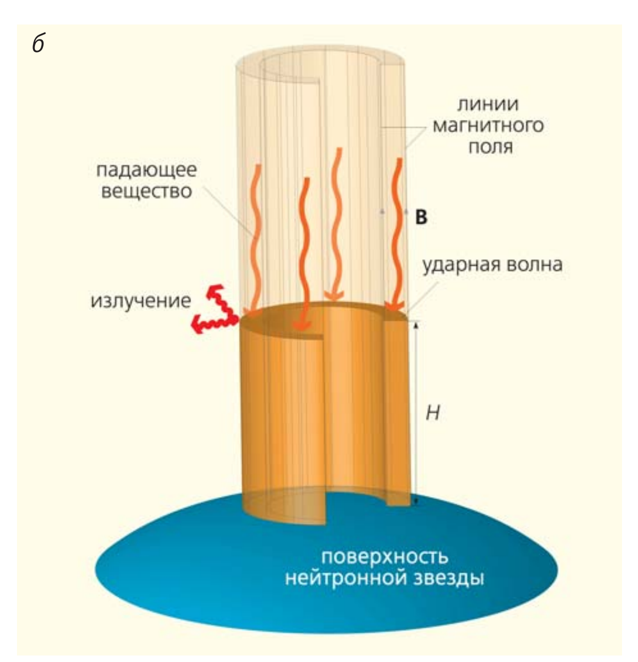


Рис.3. Схема строения аккреционной колонки рентгеновского пульсара, питающегося из аккреционного диска, для разных темпов аккреции: низкого (*а*) и высокого (*б*). Оранжевым цветом показана в разрезе заполненная горячим веществом аккреционная колонка ниже ударной волны на высоте *H*. Более светлым цветом выше ударной волны изображено падающее вещество.

Структура аккреционных областей на магнитных полюсах нейтронной звезды сильно зависит от темпа аккреции, т.е. количества вещества, падающего на звезду в единицу времени. Существует критическая светимость пульсара — так называемая эддингтоновская светимость, при которой давление выходящего излучения уравновешивает давление падающего вещества. Ниже этой светимости влиянием излучения на падающее вещество можно пренебречь; вещество падает практически до самой поверхности нейтронной звезды, и аккреционная область геометрически представляет собой тонкую «шайбу» (в случае аккреции из звездного ветра) или кольцо (при аккреции из диска) непосредственно у ее поверхности (рис.3,*а*).

Если темп аккреции оказывается достаточно большим и светимость превышает критический уровень, то, чтобы высветить избыток энергии, запасенный в падающем веществе, над поверхностью нейтронной звезды начинает подниматься ударная волна. Ее высота линейно растет с темпом аккреции, а сбоку она удерживается давлением магнитного поля [3]. Вытянутая вдоль магнитных силовых линий, заполненная горячим веществом под ударной волной структура называется аккреционной колонкой (рис.3,*б*).

Особый интерес представляют двойные системы, оптическими компаньонами в которых являются звезды класса Be. Отличительная особенность последних — высокая скорость вращения вокруг своей оси и, как следствие, наличие переменного во времени газового диска вокруг экватора. Раз в несколько лет подобные звезды за короткий промежуток времени выбрасывают значительное количество вещества, часть которого перехватывается нейтронной звездой. При такой нестационарной аккреции, когда темп падения вещества может меняться на несколько порядков величины в течение нескольких десятков дней, структура аккреционных областей (колонок) тоже должна существенно меняться. Наблюдая во времени за соответствующими характерными особенностями излучения пульсара (параметрами энергетического спектра излучения, профилем импульса, периодом пульсаций), можно исследовать фундаментальные физические процессы в непосредственной близости от нейтронной звезды.

Большая часть известных на сегодняшний день рентгеновских пульсаров входит в состав двойных систем с массивными оптическими звездами ранних спектральных классов O-B, будучи относительно молодыми объектами с возрастом миллионы — десятки миллионов лет. Согласно общепринятой модели строения нашей Галактики, такие объекты должны концентрироваться в спиральных рукавах, где все еще идут процессы интенсивного звездообразования. Массивные звезды ранних спектральных классов обладают сильным и плотным звездным ветром, в котором происходит поглощение мягких (до ~10 кэВ) рентгеновских фотонов. Поэтому регистрация рентгеновских источников в таких системах была крайне трудной задачей для космических обсерваторий предыдущих поколений. Большой шаг в исследовании популяций двойных систем в Галактике, и в частности рентгеновских пульсаров, был сделан с помощью обсерватории ИНТЕГРАЛ, работающей в диапазоне энергий выше 20 кэВ, где влияние поглощения ничтожно мало [4]. С момента ее запуска в 2002 г. было открыто более 200 новых объектов как внегалактической, так и галактической природы. Среди последних важное место занимают рентгеновские пульсары, отождествить которые удалось в результате совместного анализа данных обсерватории ИНТЕГРАЛ с данными других космических (RXTE, XMM-Newton, «Chandra», «Swift») и наземных обсерваторий. Значительное увеличение числа известных рентгеновских пульсаров в сочетании с ростом чувствительности современных обсерваторий позволило не только построить карту распределения таких объектов в Галактике, но и впервые приступить к детальному анализу их уникальных свойств [5]. Рассказ о всех полученных в последнее время результатах выходит далеко за рамки настоящей статьи, поэтому здесь мы решили ограничиться только одним из них, где был достигнут, может быть, наиболее существенный прогресс — измерение магнитных полей рентгеновских пульсаров.

Супермагниты

В 1976 г. детектор, установленный на высотном аэростате, измерил спектр излучения рентгеновского пульсара Геркулес X-1 и впервые значимо зарегистрировал спектральную особенность, которая выглядела как существенный дефицит потока (локальное понижение интенсивности) на энергии ~40 кэВ [6]. Позднее эта особенность была интерпретирована как линия резонансного циклотронного поглощения. Ее наличие в спектре связано с тем, что электроны в сильном магнитном поле нейтронной звезды B могут двигаться только по определенным орбитам (фактически по спиралеобразной траектории определенного радиуса, «наматываемой» на силовую линию магнитного поля). При этом энергия таких электронов также может принимать вполне определенные значения, кратные фундаментальной циклотронной энергии E_0:

$$E_0 = \frac{heB}{2\pi mc}. \qquad (1)$$

Здесь h — постоянная Планка, B — напряженность магнитного поля, m и e — масса и заряд электрона, c — скорость света в вакууме. В результате фотоны с энергиями E_n (n = 0, 1, 2...), где n — номер гармоники, попадают в резонанс с такими электронами и эффективно поглощаются ими, поэто-

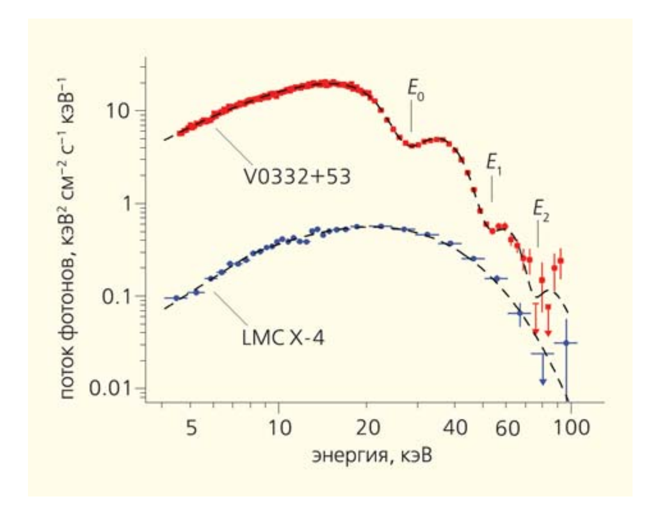


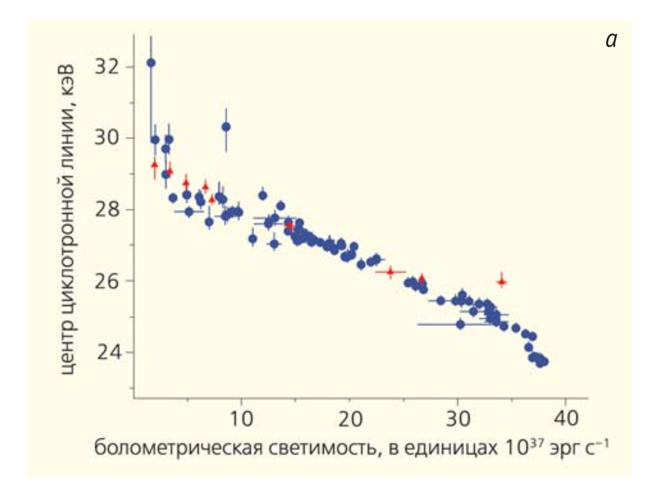
Рис.4. Энергетические спектры излучения рентгеновского пульсара V 0332+53 (красные квадраты), в спектре которого регистрируется три гармоники линии циклотронного поглощения, и пульсара LMC X-4 (синие кружки), в спектре которого такой особенности пока не обнаружено, по данным обсерватории ИНТЕГРАЛ.

му внешний наблюдатель будет регистрировать дефицит потока фотонов на энергиях E_n.

Наблюдение линии поглощения на энергии ~40 кэВ в спектре пульсара Геркулес X-1 стало первым непосредственным экспериментальным подтверждением существования на поверхности нейтронных звезд сверхсильных магнитных полей. Из простой формулы (1) можно оценить величину магнитного поля нейтронной звезды в этой системе как $B \approx 4 \cdot 10^{12}$ Гс, что хорошо согласуется с приведенными в предыдущей главе предсказаниями (конечно, при вычислении магнитного поля нейтронной звезды необходимо учитывать поправки к формуле (1), связанные с эффектами общей теории относительности в сильных гравитационных полях вблизи поверхности нейтронной звезды).

На настоящий момент в спектрах полутора десятков рентгеновских пульсаров достоверно регистрируются циклотронные линии поглощения, и в ~80% случаев из них, кроме фундаментальной гармоники ($n = 0$), регистрируются также от одной до четырех высших гармоник. Значения циклотронных энергий для разных пульсаров лежат в диапазоне от ≈11 до ≈50 кэВ (что соответствует разбросу магнитных полей от $\sim 1 \cdot 10^{12}$ до $\sim 5 \cdot 10^{12}$ Гс). На рис.4 приведены характерные энергетические спектры: рентгеновского пульсара V 0332+53 с подробно исследованной циклотронной линией и ее высшими гармониками [7, 8], и рентгеновского пульсара LMC X-4, для которого такая особенность пока не найдена — она либо очень слаба, либо находится в диапазоне энергий, где современные обсерватории имеют низкую эффективность [9].

Как было продемонстрировано в ряде работ [7, 10], энергия циклотронной линии поглощения может меняться в зависимости от собственной светимости источника. Связано это с изменением размера и геометрии аккреционных областей нейтронной звезды в зависимости от светимости пульсара. В частности, в работе [7] впервые было показано, что с уменьшением светимости источника V 0332+53 во время мощнейшей вспышки излучения (светимость в максимуме достигала $4 \cdot 10^{38}$ эрг·с⁻¹) значение циклотронной энергии в спектре пульсара увеличивается практически линейно (рис.5,*а*). Причем интересно и важно отметить, что закон, по которому происходило это изменение, оказался одинаковым как на стадии нарастания интенсивности вспышки, так и на стадии спада. Подобное поведение качественно можно объяснить в рамках описанной выше модели стро-



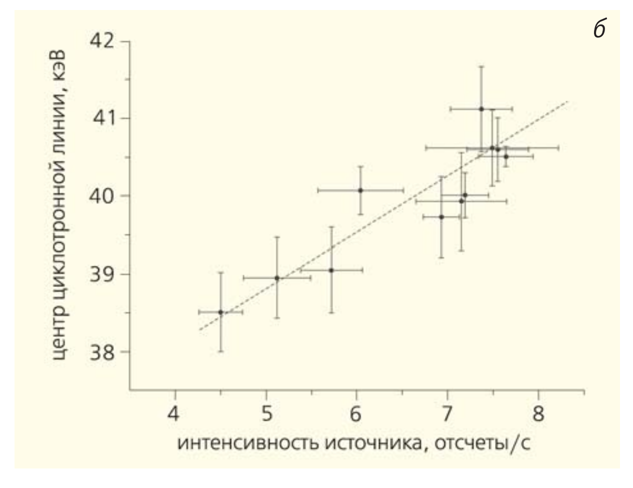


Рис.5. Зависимости положения линии циклотронного поглощения в спектре излучения от светимости пульсара во время всплеска излучения рентгеновского пульсара V 0332+53 в 2004—2005 гг. (*а*; для сравнения: светимость пульсара в максимуме превосходила светимость Солнца в 100 тыс. раз!) по данным обсерваторий RXTE (синие кружки) и ИНТЕГРАЛ (красные треугольники) и для пульсара Геркулес X-1 по данным девяти лет наблюдений обсерваторией RXTE (*б*) [11].

ения аккреционных колонок: при увеличении светимости (и, соответственно, темпа аккреции) высота аккреционной колонки увеличивается и все бо́льшая часть фотонов начинает поглощаться дальше от поверхности нейтронной звезды (см. рис.3), где напряженность магнитного поля заметно ниже (для дипольной конфигурации магнитного поля напряженность падает с расстоянием как $B \sim R^{-3}$). Следовательно, энергия циклотронной линии должна уменьшаться с ростом высоты аккреционной колонки. Таким образом, используя наблюдаемое изменение циклотронной энергии во время всплеска излучения от рентгеновского пульсара, мы можем оценить изменение высоты аккреционной колонки. В частности, для источника V 0332+53 это изменение в зависимости от светимости составило около $H \approx 1.2$ км (в предположении дипольной конфигурации магнитного поля), а максимальное значение циклотронной энергии оказалось равным около 32 кэВ (рис.5,*а*), что соответствует напряженности магнитного поля на поверхности нейтронной звезды $\sim 3 \cdot 10^{12}$ Гс [7, 8].

Буквально через год после этого открытия была обнаружена положительная корреляция циклотронной энергии со светимостью рентгеновского пульсара Геркулес X-1 [11]: в отличие от V 0332+53, с ростом темпа аккреции и светимости циклотронная частота у него растет (рис.5,*б*). Данный факт, казалось бы, полностью противоречит описанной выше картине. Однако в той же работе [11] было предложено изящное объяснение наблюдаемого эффекта, основанное на том, что светимость Геркулеса X-1 ($\sim 10^{37}$ эрг с$^{-1}$) недостаточна для возникновения аккреционной колонки. В таком случае атмосфера нейтронной звезды представляет собой тонкое кольцо (рис.3,*а*), высота которого будет уменьшаться при увеличении темпа аккреции за счет давления падающего вещества. Такая прямая корреляция между циклотронной энергией и светимостью будет наблюдаться до тех пор, пока не будет достигнута локальная эддингтоновская светимость. Затем начнет формироваться аккреционная колонка и циклотронная энергия станет уменьшаться с дальнейшим ростом светимости (как это наблюдается у V 0332+53). Эта критическая светимость, разделяющая два режима аккреции, — один из ключевых параметров для понимания физики нейтронных звезд; в настоящий момент ее стараются определить с помощью нескольких космических обсерваторий.

«Все течет, все изменяется»

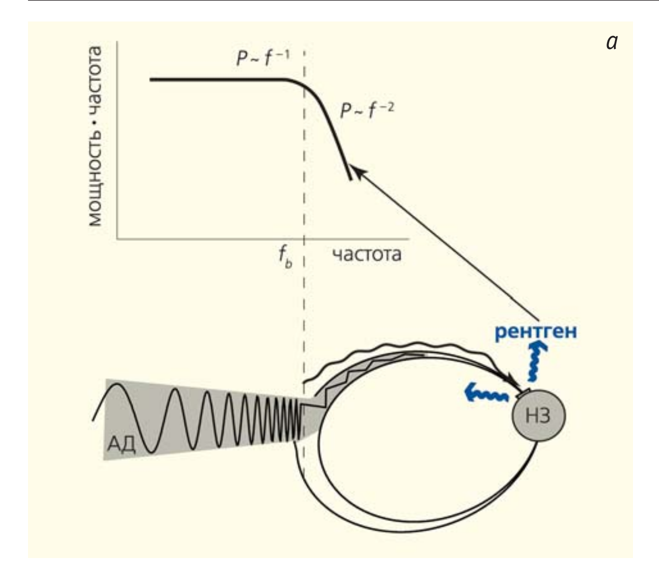
Отличительная особенность рентгеновских пульсаров — высокая степень переменности их излучения на разных временны́х масштабах, от микросекунд до нескольких лет и более. Спектр мощности излучения компактных объектов (т.е. распределение мощности сигнала в зависимости от частоты) служит важным источником информации о среде, генерирующей и распространяющей возмущения. Многое в наблюдаемом поведении излучения аккрецирующих компактных объектов может быть описано с помощью так называемой модели распространения возмущений [12]. В этой модели переменность наблюдаемого рентгеновского потока задается переменностью темпа аккреции в области основного энерговыделения компактного объекта. В свою очередь, переменность темпа аккреции оказывается следствием мультипликативной комбинации возмущений, возникающих на разных радиусах из-за случайных вариаций вязкости в аккреционном диске. В соответствии с этой моделью мощность излучения должна быть примерно обратно пропорциональна частоте вплоть до максимальной частоты возмущений, которые еще могут возникать в диске.

Рентгеновские пульсары в рассматриваемом контексте — уникальные объекты, так как из-за очень сильного магнитного поля имеют четкую внутреннюю границу аккреционного диска, которая как раз и ограничивает максимальную частоту возмущений. Исходя из этого и модели распространения возмущений, можно ожидать, что в спектре мощности существует излом на частоте, соответствующей характерной частоте переменности потока, которая генерируется на внутренней границе диска. Схематически описанная картина представлена на рис.6,*а*: до границы магнитосферы (соответствующей частоте f_b) спектр мощности следует обратно пропорциональной зависимости и объясняется моделью распространения возмущений; на радиусе магнитосферы аккреционный диск разрушается, и мощность сигнала уменьшается обратно пропорционально уже квадрату частоты [13].

Как оказалось, это свойство спектра мощности излучения рентгеновских пульсаров можно использовать для определения величины напряженности магнитного поля нейтронных звезд. Действительно, если размер магнитосферы меняется в зависимости от темпа аккреции во время упомянутых выше мощных вспышек транзиентных источников (т.е. источников, у которых интенсивность излучения может изменяться на несколько порядков величины), то частота излома в спектре мощности тоже должна меняться. При увеличении давления вещества в аккреционном диске размер магнитосферы (а соответственно, и внутреннего радиуса диска) уменьшается, а частота f_b растет. Поскольку эта частота пропорциональна кеплеровской частоте ν_K на внутреннем крае диска [13], мы можем связать ее значение с величиной напряженности магнитного поля нейтронной звезды и темпа аккреции на нее:

$$f_b \propto \nu_K \propto (GM)^{10/14} \mu^{-6/7} \dot{M}^{3/7}, \qquad (2)$$

где G — гравитационная постоянная, M — масса нейтронной звезды, $\mu = BR^3/2$ — ее магнитный момент, $\dot{M}$ — темп аккреции.



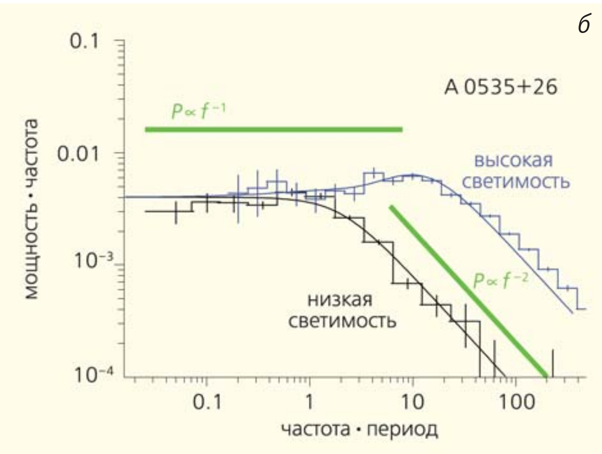


Рис.6. Спектр мощности излучения. Схематическое изображение переноса возмущений в аккреционном диске и переход в магнитосферное течение на частоте f_b, соответствующей внутренней границе диска (*а*). Спектр мощности пульсара А 0535+26 во время вспышки излучения (*б*): черной линией показаны измерения в состоянии с низкой светимостью, синей — в состоянии с высокой. Сокращения: АД — аккреционный диск, НЗ — нейтронная звезда.

В качестве примера использования данного метода на рис.6,*б* приведены спектры мощности излучения транзиентного рентгеновского пульсара А 0535+26 в состоянии с низкой светимостью (порядка 10^{36} эрг/с; черная кривая) и с высокой (порядка 10^{37} эрг/с; синяя кривая). Видно, как частота излома смещается в соответствии с предсказанием, сделанным выше. Используя наблюдаемое смещение частоты и формулу (2), напряженность магнитного поля на поверхности нейтронной звезды можно оценить в $4-5 \cdot 10^{12}$ Гс, что совпадает со значением, которое получается из положения линии циклотронного поглощения, регистрируемой в спектре источника.

Неугомонные волчки

Из-за своей компактности нейтронные звезды обладают относительно небольшим моментом инерции (порядка 10^{45} г·см^2, что примерно соответствует моменту инерции Земли). В случае аккреции из диска, когда вещество, захватываемое магнитосферой нейтронной звезды, несет большой угловой момент, период собственного вращения нейтронной звезды очень чутко реагирует на изменение темпа аккреции. Ключевым вопросом при этом оказывается механизм передачи углового момента от падающего вещества нейтронной звезде и обратно (в случае замедления пульсара).

В качестве такого механизма было предложено взаимодействие аккрецируемой плазмы с магнитосферой нейтронной звезды [14]. Основная идея состоит в том, что если вещество в аккреционном диске на расстоянии $R_м$ (радиус магнитосферы или альвеновской поверхности, см. выше) от нейтронной звезды имеет более высокую угловую скорость, чем сама звезда, то силовые линии магнитного поля, пересекающие аккреционный диск в этом месте, будут как бы цепляться за него и тем самым ускорять вращение самой звезды. В противном случае — когда скорость вращения звезды выше скорости вращения вещества в аккреционном диске — звезда будет отдавать избыток углового момента веществу. Схематически случай ускоряющегося вращения нейтронной звезды изображен на рис.7,*а*. Сплошной черной линией показан так называемый радиус коротации ($R_{кор}$), т.е. радиус, на котором скорость вращения магнитосферы (и самой звезды) совпадает с кеплеровской скоростью вещества на данном радиусе. Конфигурация «магнитосфера—аккреционный диск» в случае замедления пульсара (когда $R_м > R_{кор}$) показана на рис.7,*б*. Таким образом, будет ли ускоряться или замедляться собственное вращение нейтронной звезды, зависит от того, на каком расстоянии от нее ее магнитосфера взаимодействует с веществом. Это, в свою очередь, определяется радиусом магнитосферы, т.е. в конечном счете величиной магнитного поля нейтронной звезды.

Экспериментально уже давно показано, что период вращения рентгеновских пульсаров сильно меняется при изменении их светимости. Один из ярких примеров передачи углового момента нейтронной звезде показан на рис.8; он относится к системе EXO 2030+375 во время мощной вспышки излучения в июне—октябре 2006 г. Видно, как с увеличением светимости пульсара начинает резко уменьшаться период его пульсаций, т.е. собственное вращение ускоряется. Теоретические модели переноса углового момента способны предсказать скорость приращения периода исходя из магнитного поля, момента инерции и темпа аккреции на нейтронную звезду. В действительности же приращение периода легко измеряется в наблюдениях, тогда как напряженность магнит-

а

б

Рис.7. Схематическое изображение взаимодействия аккреционного диска с магнитосферой нейтронной звезды в случаях высокого ($R_м < R_{кор}$, *а*) и низкого ($R_м > R_{кор}$, *б*) темпа аккреции.

ного поля остается неизвестной величиной, если в спектре излучения пульсара не регистрируется линия циклотронного поглощения. Таким образом, имея достаточное количество измерений периода и интенсивности пульсара, мы можем оценить напряженность магнитного поля нейтронной звезды, а в некоторых случаях и расстояние *d* до системы (строго говоря, приборами регистрируется поток *F*, а не собственная светимость пульсара $L = 4\pi F d^2$). Один из примеров удачного использования этого метода — определение для рентгеновского пульсара KS 1947+300 напряженности магнитного поля $2.5 \cdot 10^{13}$ Гс и расстояния до системы 9.5 кпс [15]. Полученное значение расстояния хорошо согласуется с результатами оптических наблюдений, а столь высокая напряженность магнитного поля объясняет отсутствие линии циклотронного поглощения в доступной для исследований области спектра (3—100 кэВ).

В действительности картина переноса углового момента гораздо сложнее. Например, до сих

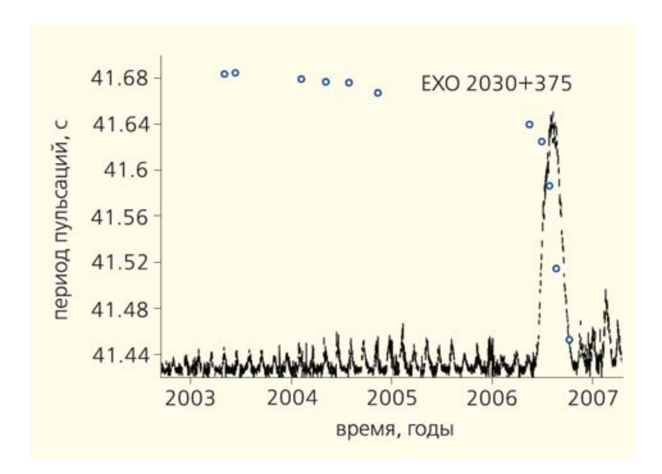


Рис.8. Зависимость периода пульсаций источника EXO 2030+375 от времени, измеренная по данным обсерватории ИНТЕГРАЛ (синие кружки). Точками показан поток от пульсара. Видна яркая вспышка излучения в июне—октябре 2006 г.

пор не ясно, передается ли угловой момент вещества сразу всей звезде или только ее твердой коре, момент инерции которой может составлять ничтожную долю от полного углового момента звезды. Кроме того, остаются предметом для дебатов теоретиков и физические механизмы оттока углового момента от звезды.

Не точка, а многоточие

Несмотря на то что рентгеновские пульсары были открыты 40 лет назад, точным знанием их параметров, пониманием механизмов их формирования и излучения в зависимости от внешних факторов мы пока похвастаться не можем. Во многом это связано с тем, что единственная информация о космических источниках рентгеновского излучения, доступная наблюдателям, — энергия и время прихода фотонов от них. Здесь мы постарались показать на примере рентгеновских пульсаров, что, обладая даже такой ограниченной информацией, можно исследовать и получать конкретные физические параметры объектов, которые невозможно напрямую наблюдать в оптические телескопы с Земли. В частности, для объектов, находящихся на расстояниях нескольких или даже десятков килопарсек, удается отслеживать изменения их геометрии с точностью до сотен метров и изучать эффекты взаимодействия излучения с веществом в таких экстремальных состояниях, которые никогда не будут доступны экспериментаторам в земных лабораториях.

Все это стало возможным благодаря бурному развитию космического приборостроения в последнее десятилетие, особому вниманию, уделяемому внеатмосферным исследованиям космоса во всем мире, и, как следствие, целой череде успешных запусков рентгеновских обсерваторий. Но ученые не собираются останавливаться на достигнутом: в ближайшие несколько лет запланированы запуски обсерваторий нового поколения — таких как NuSTAR (США), NEXT (Япония), «Спектр-Рентген-Гамма» (Россия), чувствительность которых в жестких рентгеновских лучах (в диапазоне энергий ~20—80 кэВ) будет почти на два порядка выше чувствительности обсерватории ИНТЕГРАЛ. Так что впереди нас ждет еще много разгадок тайн Вселенной, в том числе и ее магнитных сердец.■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 07-02-01051, и государственным контрактом 14.740.11.0611.

Литература

1. *Giacconi R., Gursky H., Paolini F.R., Rossi B.B.* // Physical Review Letters. 1962. V.9. P.439—443.
2. *Shakura N., Sunyaev R.* // Astron. and Astrophys. 1973. V.24. P.337—355.
3. *Basko M.M., Sunyaev R.A.* // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1976. V.175. P.395—417.
4. *Lutovinov A., Revnivtsev M., Gilfanov M. et al.* // Astron. and Astrophys. 2005. V.444. P.821—829.
5. *Лутовинов А.А., Цыганков С.С.* // Письма в «Астрономический журнал». 2009. Т.35. С.483—506.
6. *Truemper J., Pietsch W., Reppin C. et al.* // Astrophysical Journal Letters. 1978. V.219. P.105—110.
7. *Tsygankov S.S., Lutovinov A.A., Churazov E.M., Sunyaev R.A.* // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2006. V.371. P.19—28.
8. *Tsygankov S.S., Lutovinov A.A., Serber A.V.* // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2010. V.401. P.1628—1635.
9. *Цыганков С.С., Лутовинов А.А.* // Письма в «Астрономический журнал». 2005. Т.31. С.427—436.
10. *Цыганков С.С., Лутовинов А.А., Чуразов Е.М., Сюняев Р.А.* // Письма в «Астрономический журнал». 2007. Т.33. С.417—434.
11. *Staubert R., Shakura N.I., Postnov K. et al.* // Astron. and Astrophys. 2007. V.465. P.25—28.
12. *Lyubarskii Yu.E.* // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1997. V.292. P.679—685.
13. *Revnivtsev M., Churazov E., Postnov K., Tsygankov S.* // Astron. and Astrophys. 2009. V.507. P.1211—1215.
14. *Lovelace R., Romanova M., Bisnovatyi—Kogan G.* // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1995. V.275. P.244—254.
15. *Цыганков С.С., Лутовинов А.А.* // Письма в «Астрономический журнал». 2005. Т.31. С.99—109.

Хромосомные инверсии в клетке и в эволюции

П.М.Бородин, А.А.Торгашева

В разных науках инверсиями называют вещи, не имеющие ничего общего друг с другом. Так, в драматургии инверсия — прием, демонстрирующий исход конфликта в начале пьесы. Если мы начнем эту статью словами «Прочитав эту статью, вы поймете, к каким драматическим последствиям может привести поворот куска хромосомы на 180°», это и будет иллюстрацией драматургической инверсии. Но наша статья посвящена не драматическим, а хромосомным инверсиям. Как вы уже догадались, они представляют собой именно повороты кусков хромосом на 180°, поэтому мы начнем с того, что напомним, как устроены хромосомы.



Павел Михайлович Бородин, *доктор биологических наук, заведующий лабораторией рекомбинационного и сегрегационного анализа Института цитологии и генетики СО РАН, профессор кафедры цитологии и генетики Новосибирского государственного университета. Занимается проблемами эволюционной генетики, генетики мейоза. Лауреат премии им.В.С.Кирпичникова за выдающийся вклад в развитие эволюционной генетики (2004).*



Анна Александровна Торгашева, *аспирант той же лаборатории, область научных интересов — молекулярная биология мейоза, сравнительная цитогенетика млекопитающих. Лауреат Всероссийского открытого конкурса 2008 г. на лучшую научную работу студентов по естественным, техническим и гуманитарным наукам по разделу «Биологические науки».*

Устройство хромосомы

Хромосома — это комплекс ДНК и белков: ДНК содержит генетическую информацию, необходимую для создания и функционирования организма, а белки упаковывают ДНК, причем неравномерно — одни районы более плотно, чем другие. Кроме того, в ходе клеточного цикла плотность упаковки меняется. Перед началом клеточного деления хромосомы компактизуются.

Каждая хромосома содержит центромеру — особый участок ДНК, к которому прикрепляются специфические белки, а к ним, в свою очередь, — нити веретена клеточного деления. Концы хромосомы защищены теломерами. Между центромерой и теломерой находится так называемое плечо хромосомы. Положение центромеры определяет тип хромосомы: если центромера на конце хромосомы, она называется акроцентрической, или акроцентриком, а если центромера где-то посредине — метацентрической, или метацентриком (рис.1).

Набор хромосом (кариотип) служит надежной характеристикой видовой принадлежности животных и растений. Постоянство кариотипа и стабильную передачу в ряду клеточных поколений и от родителей к потомкам обеспечивают два замечательно точных процесса — митоз и мейоз соответственно. Митоз проходят в школе и с завидной регулярностью описывают в научно-популярных статьях о хромосомах, поэтому мы

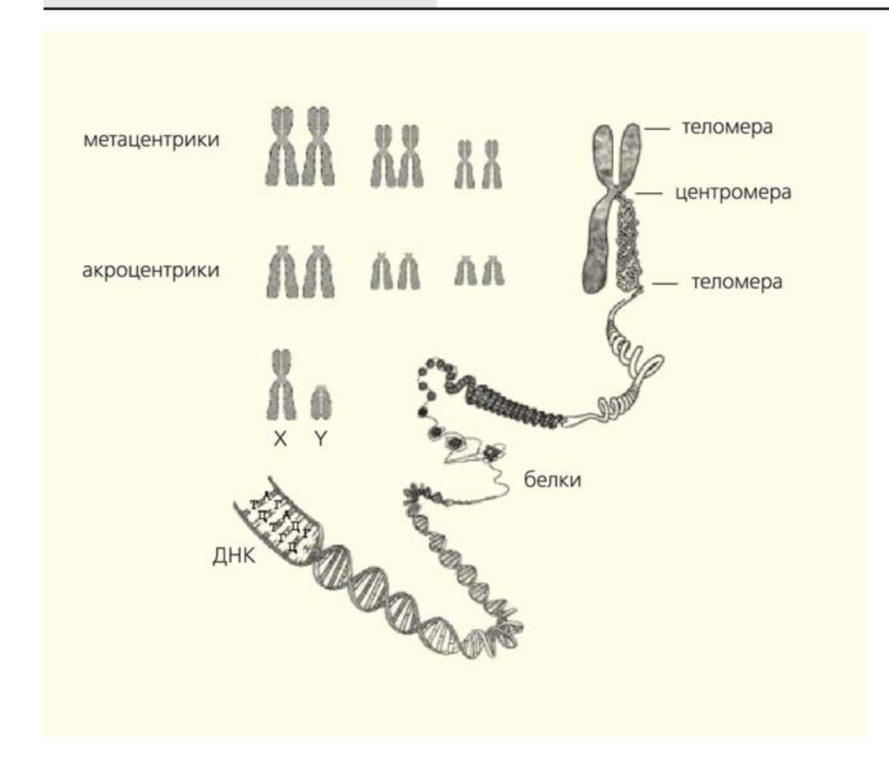


Рис.1. Схема организации хромосомы.

не станем про него говорить. Мейоз тоже проходят в школе, и один из нас только в журнале «Природа» рассказывал о нем по крайней мере три раза, последний раз в статье про рекомбинацию [1]. О современных достижениях в области молекулярной биологии и эволюции мейоза читатель может прочитать в статье Ю.Ф.Богданова [2]. Однако процесс этот настолько красив и настолько важен для понимания того, как возникают хромосомные инверсии, отчего одни из них вскоре утрачиваются, а другие размножаются в популяциях, т.е. для понимания всей этой статьи, что мы напомним его основные события (рис.2).

Механика мейоза

Перед первым делением мейоза происходят два важных события — синапсис (сближение гомологичных хромосом) и рекомбинация хромосом. Синапсис начинается с того, что концы гомологичных хромосом, скользя по ядерной мембране, собираются в одной точке. Хромосомы, оказываясь поблизости друг от друга, приступают к взаимному опознанию, которое, видимо, идет в два этапа. Первое приблизительное может происходить по принципу штрих-кодов. Поскольку набор хромосомных белков и характер их связывания с ДНК во многом определяется последовательностью нуклеотидов, каждая хромосома отличается индивидуальным штрих-кодом — специфичным распределением белков. Так как гомологичные хромосомы в основном сходны по последовательностям ДНК, они должны иметь сходные штрих-коды. Значит, грубое распознавание может быть достигнуто простым их совмещением.

Процесс тонкого опознания и синапсиса хромосом, неразрывно связанный с рекомбинацией, начинается с возникновения множественных двунитевых разрывов в ДНК мейотических

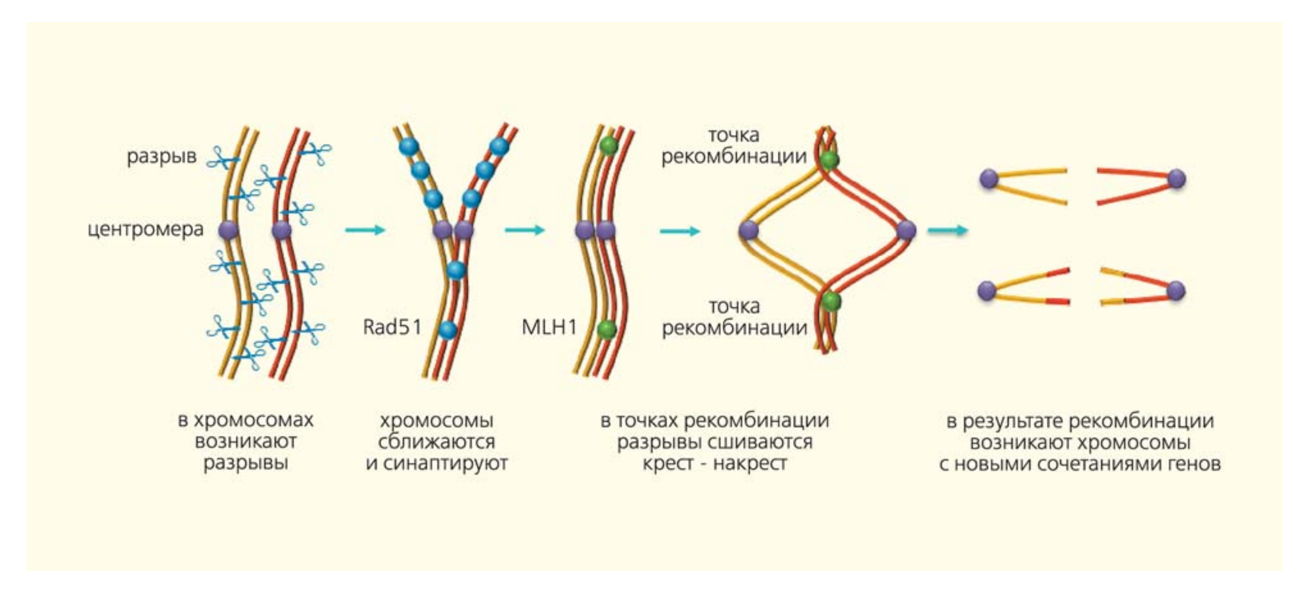


Рис.2. Основные события мейоза. Гомологичные хромосомы обозначены разными цветами.

хромосом. В их соединении активно участвует белок Rad51. Он связывается со свободными концами разорванных ДНК и внедряет их в ДНК гомологичных хромосом, одновременно расплетая ДНК-мишень. Найдя комплементарный участок, внедрившаяся нить ДНК спаривается с ним. Тонкое опознание заканчивается, когда количество связок между ДНК пары гомологичных хромосом достигает критического уровня. Синапсис инициируется в нескольких точках. Затем хромосомы с помощью белкового комплекса, работающего как застежка-молния, соединяются по всей длине, уже не обращая внимания на гомологию.

Большая часть связок между ДНК, возникших при поиске гомологии, разрезается и сшивается таким образом, что восстанавливается исходное состояние цепей ДНК (безобменный путь). У всех изученных млекопитающих только небольшая часть связок (меньше 10%) сшивается крест-накрест (обменный путь), при этом ДНК одного из гомологов в пункте обмена соединяется с ДНК другого. В этом процессе участвует специфический белок репарации MLH1. Это и есть точки рекомбинации, в которых происходит переключение с одного гомолога на другой. В мейоз хромосомы вступили в таком виде, в каком были получены от родителей, а выйдут они из мейоза уже рекомбинантными. В материнской хромосоме будет часть отцовской, а в отцовской — часть материнской.

Изготовление инверсии

Как ни удивительно, но в абсолютном большинстве половых клеток синапсис хромосом происходит очень точно: ген к гену. Однако мы хорошо знаем, что гены — это минорный компонент геномов млекопитающих. В основном хромосомы наполнены повторенными последовательностями, в том числе мобильными генетическими элементами, которые способны копироваться и встраиваться в разные участки генома. Эти элементы могут служить источником многих неприятностей, в том числе быть причиной хромосомных инверсий.

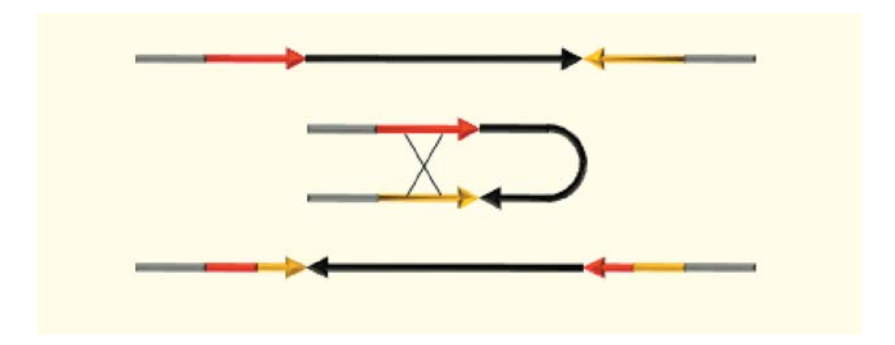


Рис.3. Схема образования инверсии путем рекомбинации в повторенных последовательностях по [3]. Черным цветом обозначен участок инверсии, красным и желтым — повторенные последовательности в противоположной ориентации. Если такие последовательности сблизятся, между ними может произойти гомологичная рекомбинация — разрезание и сшивание крест-накрест. В результате участок, расположенный между повторенными последовательностями, повернется на 180°.

Если в одной и той же хромосоме находятся два одинаковых, но противоположно ориентированных мобильных элемента, между ними возможна гомологичная рекомбинация. Результатом такой эктопической (т.е. произошедшей в неположенном месте) рекомбинации будет поворот участка, лежащего между этими элементами, на 180° — т.е. хромосомная инверсия (рис.3). Если этот участок включает в себя центромеру, инверсия называется перицентрической, если нет, то парацентрической.

Проверка на пригодность

Как только инверсия возникла, естественный отбор начинает проверять ее на пригодность. Первый тест, который проходит любая мутация (а инверсия — это хромосомная мутация), — это проверка на совместимость с жизнью. Большинство инверсий совместимы, более того, они не сильно-то и сказывается на жизнеспособности носителей. И это хорошо. Как мы знаем, эволюция идет путем суммирования мелких фенотипических изменений.

В случае инверсий такие фенотипические изменения, как правило, обусловлены тем, что меняются генные соседства. Это явление обнаружили еще в начале прошлого века и назвали его эффектом положения, механизм которого мы теперь понимаем. Мы знаем, что время, место, интенсивность и продолжительность работы генов в сильной степени зависят от генетических регуляторов (энхансеров, сайленсеров, инсуляторов и др.), расположенных неподалеку в той же хромосоме. Инверсии могут переносить структурные гены из зоны действия своих регуляторов и/или подставлять их под действие чужих.

Если вновь возникшая инверсия не сказывается на жизнеспособности носителя или слегка ее повышает, такой носитель имеет шансы произвести потомков, которые понесут эту инверсию дальше. Но прежде инверсия должна попасть в гаметы, т.е. пройти проверку мейозом. Это довольно сложная задача.

Проверка на совместимость

У гетерозигот по инверсии в мейотической клетке одновременно присутствуют и нормаль-

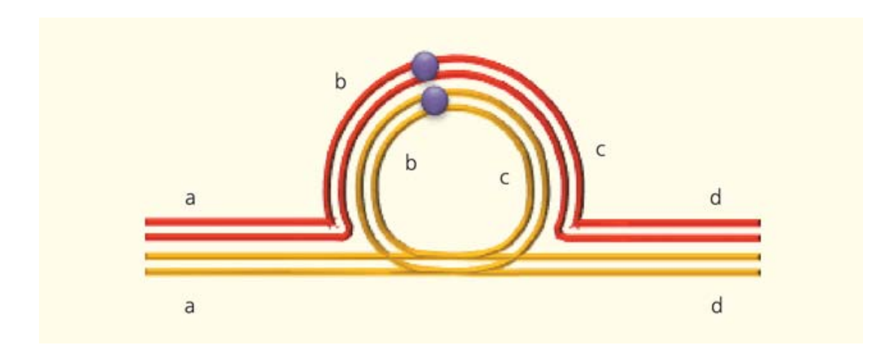


Рис.4. Инверсионная петля, которая возникает при полностью гомологичном синапсисе у гетерозигот по инверсии. Буквами обозначено положение гомологичных участков хромосом. Видеомодель этого процесса представлена в Интернете (http://meiosis.bionet.nsc.ru/media/line1.avi).

ная хромосома, и хромосома с инвертированным участком. У них инвертированный участок и соответствующий ему участок нормальной хромосомы ориентированы противоположно, поэтому гомологичным участкам найти друг друга довольно сложно. А сформировать полностью гомологично спаренный и при этом линейный бивалент и вовсе невозможно. Выйти из этого положения помогает образование нелинейной конфигурации — инверсионной петли (рис.4).

Однако не всем гетерозиготам и не всегда удается сформировать такую структуру. Для этого необходимо, чтобы синапсис инициировался как минимум в трех точках: в пределах инвертированного участка и по обе стороны от него. Вероятность того, что это произойдет, зависит от морфологии инвертированного участка, позиций границ инверсии, конкретного генотипа. Однако ключевыми факторами оказываются размер и положение инверсии: чем она больше, тем больше вероятность образования петли. Так, гетерозиготы по небольшим перицентрическим инверсиям практически никогда не формируют петель. Вместо этого образуются обычные линейные биваленты, но с негомологично спаренным районом. В этих случаях синапсис инициируется с одной или с обеих сторон инвертированного участка, который затем «застегивается» негомологично.

В негомологичном синапсисе нет ничего плохого, он не снижает жизнеспособность клетки, напротив, позволяет избегать проблем, с которыми сталкиваются биваленты с инверсионными петлями. Мы их обсудим чуть позже.

Что очень опасно для клетки — это асинапсис (т.е. неспособность хромосомы спариться с гомологом). И это понятно. Контролеры клеточного цикла строго следят за тем, чтобы все хромосомы спаривались полностью. Неважно как — гомологично или негомологично, важно, чтобы полностью. Все клетки, в которых обнаруживаются неспаренные хромосомы, самоликвидируются путем апоптоза.

Как правило, в случае простой гетерозиготности по инверсиям асинапсис не возникает. Образуется либо гомологично спаренный бивалент с петлей, либо прямой бивалент с негомологичным синапсисом в районе инверсии. Однако у сложных гетерозигот, когда в одной клетке имеются две разные инверсии одной и той же хромосомы, попытки синапсиса, как правило, заканчиваются неудачей.

Мы получили такие сложные гетерозиготы в лаборатории.

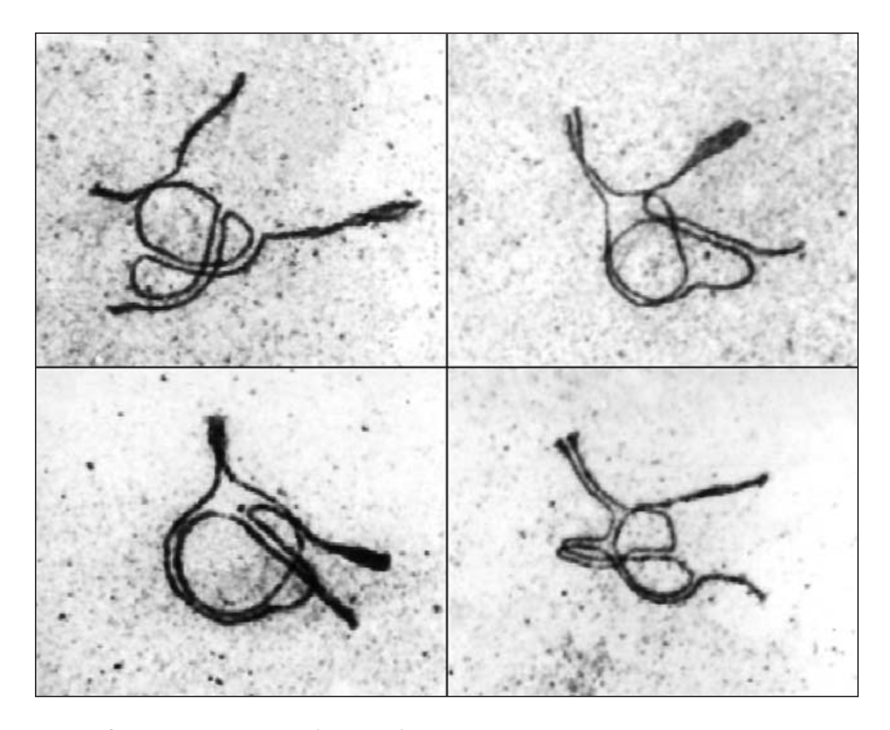


Рис.5. Электронные микрофотографии синаптонемного комплекса первой хромосомы мышей, гетерозиготных по двум различным инверсиям. Гомологичные хромосомы в мейозе связываются с помощью специальной белковой структуры — синаптонемного комплекса. Гетерозиготы по двум разным инверсиям пытаются преодолеть сложности с гомологичным спариванием и формируют различные синаптические конфигурации. Как правило, при этом остаются довольно протяженные участки асинапсиса — неспаренные районы хромосом.

Для этого скрестили мышей, гомозиготных по разным инверсиям в хромосоме 1. Хромосомы честно пытались спариться, хоть гомологично, хоть негомологично. Но это им не удалось. В подавляющем большинстве наблюдались большие зоны асинапсиса, и такие клетки неизбежно гибли (рис.5). Наши сложные гетерозиготы оказывались полностью стерильными [4].

Отсюда следует занятный сценарий видообразования. Допустим, есть две географически изолированные популяции. В каждой из них возникает и успешно проходит проверку на жизнеспособность и совместимость своя инверсия. В каждой популяции инвертированные хромосомы распространяются и замещают нормальные варианты хромосом. После этого ареалы двух популяций смыкаются, становится возможной гибридизация, но гибриды оказываются стерильными. Судя по всему, такой сценарий не раз использовался при видообразовании у комаров, дрозофил и других животных.

Запирание рекомбинации

Теперь посмотрим, к каким последствиям может привести полностью гомологичный синапсис у простых гетерозигот по инверсии. Он делает возможной рекомбинацию в пределах инверсионной петли. Рекомбинация — это очень важный и полезный процесс, но только не в пределах инверсии. Здесь ее последствия чаще всего фатальны.

Нечетное число обменов в петле у гетерозигот по перицентрической инверсии всегда приводит к потере одних и удвоению других участков хромосом, а у гетерозигот по парацентрической инверсии — к образованию хромосомы с двумя центромерами и хромосомы без центромеры. Гаметы, несущие такие хромосомы, нежизнеспособны (рис.6, слева).

Второй (четный) обмен в петле устраняет вредные последствия первого (рис.6, справа). Однако вероятность того, что два обмена возникнут рядом друг с другом, крайне низка. Поэтому первый же обмен в инверсионной петле всегда оказывается единственным (и нечетным) и ведет к фатальным последствиям.

Действительно, во многих генетических экспериментах показано, что у гетерозигот по инверсии нет потомков, рекомбинантных по генам, расположенным в районе инверсии. Это явление, названное запиранием кроссинговера, долгое время объясняли гибелью рекомбинантных гамет. Теперь мы понимаем, что запирание может осу-

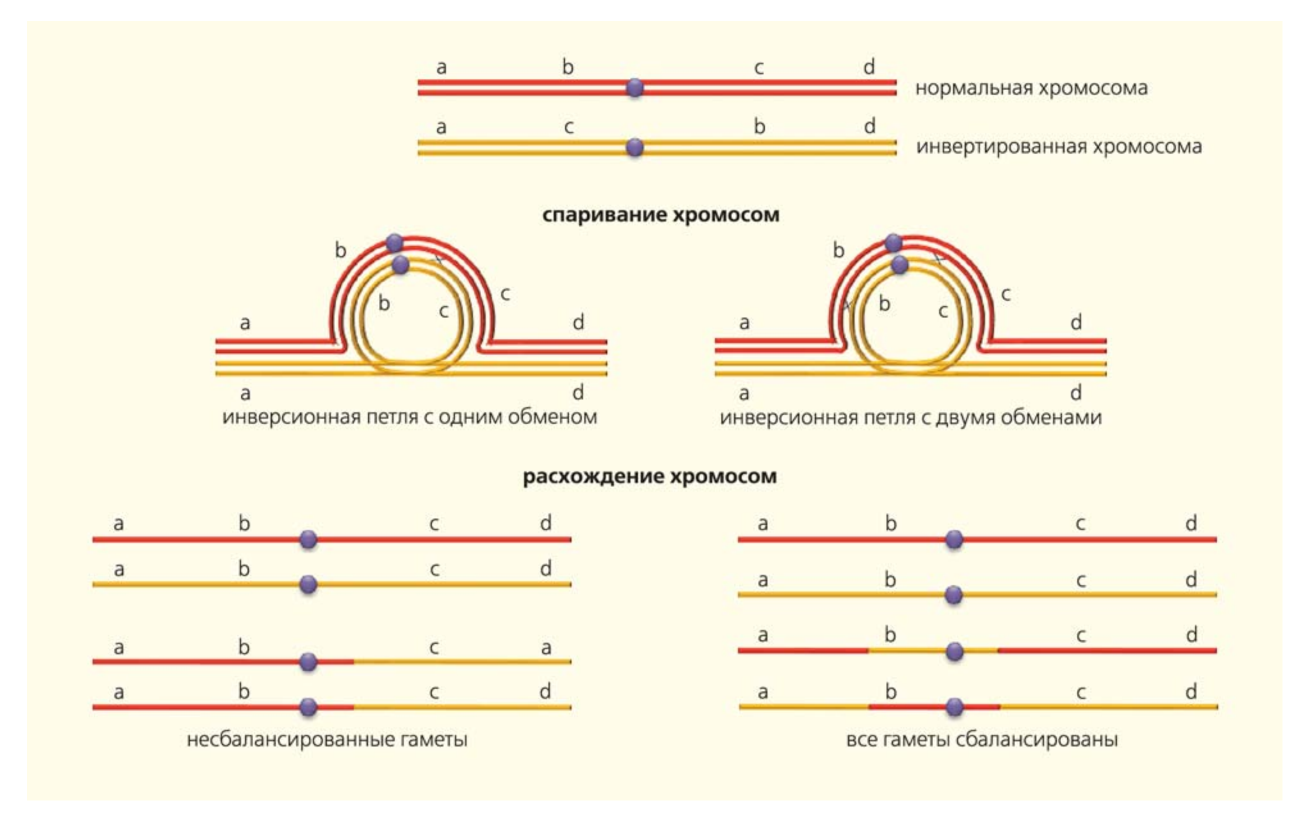


Рис.6. Продукты одинарного и двойного кроссинговера в инверсионной петле у гетерозигот по перицентрической инверсии. Если в инверсионной петле произойдет нечетное число рекомбинационных обменов (один), образуется две нормальные хроматиды и две хроматиды с утерянными и удвоенными участками. Содержащие их гаметы, как правило, нежизнеспособны (слева). В случае четного числа обменов (двух) все гаметы оказываются сбалансированными (справа).

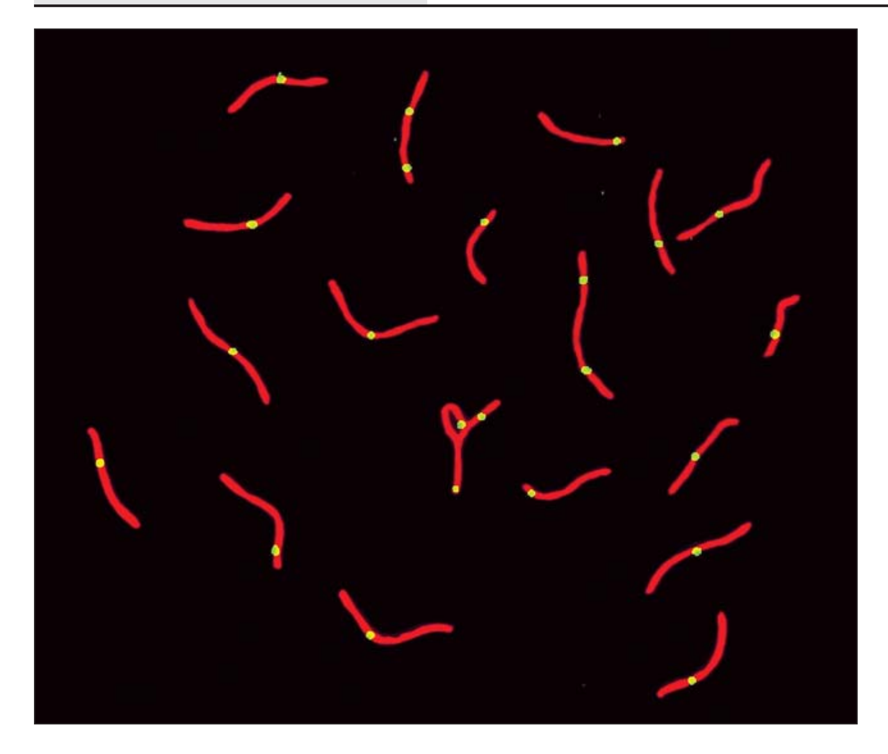


Рис.7. Ооцит мыши, гетерозиготной по инверсии в первой хромосоме. Клетка окрашена антителами к белку синаптонемного комплекса (красный цвет) и белку MLH1 (зеленый). Синаптонемный комплекс обеспечивает связь между гомологичными хромосомами. Белок MLH1 маркирует точки рекомбинации. Первая хромосома (в центре) формирует бивалент с инверсионной петлей, на котором видны три точки кроссинговера: одна внутри петли и две — вне.

ществляться и за счет негомологичного синапсиса в районе инверсии, который запрещает рекомбинацию.

Используя антитела к белкам рекомбинации, мы попытались оценить способы запирания кроссинговера у мышей, гетерозиготных по большой парацентрической инверсии в хромосоме 1. Примерно в половине клеток возникали инверсионные петли, в которых мы наблюдали рекомбинацию (рис.7, 8). Оставшаяся часть клеток формировала линейные биваленты с негомологично спаренным районом инверсии. В таких бивалентах рекомбинации в районе инверсии не должно быть никогда. И тем не менее в 20% таких прямых бивалентов мы наблюдали рекомбинацию в инвертированном участке. Хотя ее там не должно быть, потому что ее там не должно быть никогда. А в этих невозможных бивалентах всегда был один обмен, и он всегда располагался точно в середине инвертированного участка. Как могли образоваться такие невозможные биваленты? Может быть, это стало возможным, потому что петля схлопнулась?

Синаптическая подгонка

Идея о том, что инверсионные петли могут схлопываться, подгоняться, возникла около 30 лет назад [5]. Тогда обнаружили, что размер петель и процент клеток, несущих биваленты с петлями, уменьшается по мере мейотической прогрессии. Эта идея вошла в научную литературу как гипотеза синаптической подгонки. Предполагалось, что инверсионные петли могут превращаться в прямые биваленты. Согласно этой модели, гомологичный синапсис в петле может постепенно замещаться негомологичным, превращая петлевые биваленты в линейные. Долгое время думали, что большинство прямых бивалентов возникает именно так. Поэтому синапти-

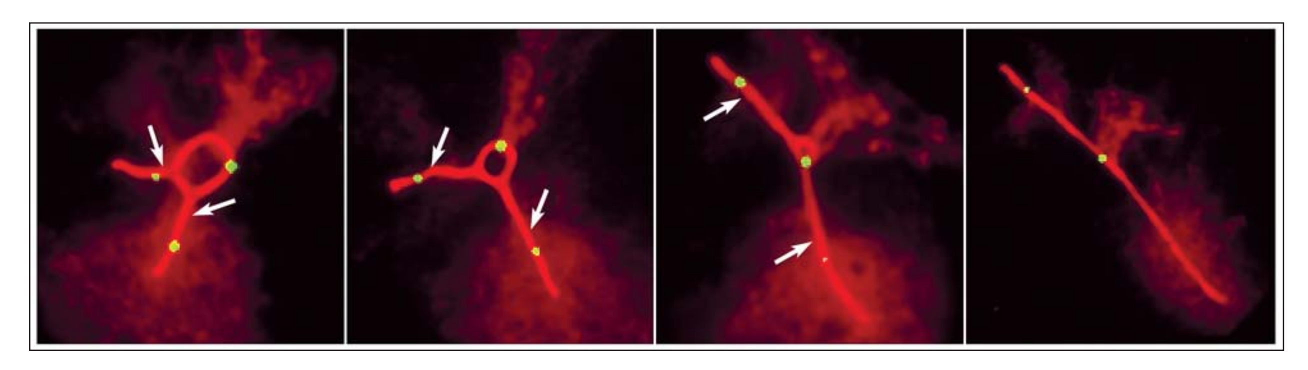


Рис.8. Биваленты хромосомы 1 у мыши, гетерозиготной по инверсии в этой хромосоме. Клетки окрашены антителами к белку синаптонемного комплекса (красный цвет) и белку MLH1 (зеленый). Стрелками показаны границы инверсии. Инверсионная петля варьирует по размеру от 60% длины хромосомы (слева) до 0% (справа). Во всех случаях инвертированный участок содержит один сигнал MLH1 — одну точку кроссинговера.

ческая подгонка считалась способом запирания кроссинговера, т.е. предотвращения рекомбинации в пределах петли. Сейчас мы знаем, что все наоборот: не подгонка предотвращает рекомбинацию, а рекомбинация в любом месте, кроме самого центра инверсии, предотвращает подгонку.

Если кроссинговер произошел в середине инверсионной петли, то замещение гомологичного синапсиса негомологичным начнется с двух концов петли, достигнет середины и линейный бивалент сформируется практически беспрепятственно. Если же обмен произошел где угодно, но не в середине петли, он помешает завершению подгонки, так как в точке рекомбинации гомологичные хромосомы физически связаны перекрестом. Процесс подгонки «упрется» в рекомбинационную точку.

Результаты наших наблюдений также подтверждают это предположение. В большой части клеток на поздней стадии мейоза мы видели маленькие инверсионные петли с рекомбинационным сигналом в основании. Видео модели обоих вариантов синаптической подгонки читатель может загрузить с сайта нашей лаборатории*.

Применение к эволюции

Запирание кроссинговера в пределах инверсий играет огромную роль и в адаптации популяций, и в видообразовании. Рекомбинация нужна и полезна в быстроменяющихся условиях среды. Благодаря ей возникают и проверяются отбором новые сочетания генов. Но при этом, благодаря ей же, разрушаются старые, уже опробованные и одобренные отбором комбинации [1]. Запирание кроссинговера позволяет сохранять такие сочетания, обеспечивая преимущества, которые могут перевешивать даже некоторое снижение плодовитости, обусловленное гибелью рекомбинантных гамет.

Обратите внимание, что запирание кроссинговера происходит у гетерозигот по инверсиям и, следовательно, у гетерозигот по запертым инверсиями комбинациям генов. Как только в популяции образуются гомозиготы по инверсиям — кроссинговер отпирается, но рекомбинация уже не может ничего разрушить — выгодные комбинации генов переведены в гомозиготное состояние.

Запирание кроссинговера, обусловленное инверсиями, видимо, очень важно в видообразовании. Рассмотрим две географически изолированные популяции, у которых в разных хромосомах возникают инверсии. Они распространяются и замещают нормальные варианты хромосом. После этого ареалы этих двух популяций смыкаются, становится возможной гибридизация. Гибриды фертильны, и через них может происходить обмен генами. Но гены, запертые в инверсиях, переходят от одного вида к другому гораздо медленнее, чем свободно рекомбинирующие. Если контакт между популяциями затем прервется и они со временем превратятся в настоящие виды, то гены, находившиеся в инверсиях, будут различаться сильнее, чем те, что были в районах без инверсий.

Именно это мы наблюдаем, сравнивая геномы человека и шимпанзе, которые отличаются друг от друга по серии инверсий. Анализ, проведенный Н.Бартоном и А.Наварро, показал, что гены, локализованные в инверсиях, дивергировали больше [6]. И произошло это не потому, что они быстрее эволюционировали, а оттого, что изоляция между ними установилась раньше. Отсюда, между прочим, следует довольно забавный вывод о нашей видовой истории. С тем, что мы с шимпанзе происходим от общего предка, мы худо-бедно смирились. Теперь нам придется смириться с тем, что популяции протолюдей и протошимпанзе очень долгое время жили неподалеку друг от друга и время от времени обменивались генами.

Создание хромосомы Y

Инверсии сыграли ключевую роль в возникновении половых хромосом. У общего предка млекопитающих X- и Y-хромосомы были почти одинаковыми. Отличались они лишь тем, что на Y-хромосоме находились гены детерминации мужского пола, а на X-хромосоме их не было. Для надежного определения пола этот комплекс генов должен наследоваться неразрывным блоком, без обменов между X- и Y-хромосомами. Иными словами, кроссинговер должен быть прекращен между той частью прото-Y-хромосомы, где были гены мужского пола, и той частью прото-X-хромосомы, где таких генов не было.

Вы уже знаете, что самое надежное средство против кроссинговера — инверсии. Значит, все инверсии, возникавшие в этой части Y-хромосомы, немедленно подхватывались естественным отбором. В результате кроссинговер запирался почти на всей Y-хромосоме, и она стала быстро дивергировать от X-хромосомы. У большинства нынешних млекопитающих сохранился лишь крошечный участок гомологии между X- и Y-хромосомами, в котором они по-прежнему синаптируют и рекомбинируют [7].

Этот путь был не уникальным для млекопитающих. Инверсии накапливались всегда и везде, когда возникала необходимость образования половых хромосом.

* http://meiosis.bionet.nsc.ru/media/line2.avi — вариант с рекомбинацией точно в центре инверсии, который заканчивается полной подгонкой; http://meiosis.bionet.nsc.ru/media/line3.avi — вариант с рекомбинацией НЕ в центре инверсии, которая делает полную подгонку невозможной.

Хромосомные инверсии: инструкция по применению

Таким образом, инверсии оказываются уникальным эволюционным материалом. Они регулярно возникают в ходе рекомбинации и, как правило, не приводят к нарушениям фенотипа. Если они и меняют его, то не грубо и резко, а мягко и по чуть-чуть. Однако главное их достоинство — это способность на время запирать рекомбинацию в определенных участках генома, в которых могут накапливаться полезные комбинации генов. Естественно, за эти замечательные качества инверсии некоторым их носителям приходится платить снижением плодовитости за счет образования несбалансированных гамет. Однако в большинстве случаев эта плата относительно невелика. Более того, многим носителям инверсий удается снижать эту плату или вовсе ее избегать.

Показательно, что гомологичный синапсис с образованием инверсионных петель обычно наблюдается у носителей недавно возникших инверсий. Инверсии же, давно присутствующие в популяциях, чаще всего характеризуются негомологичным синапсисом. Таким образом, их носители бесплатно пользуются всеми преимуществами инверсионной гетерозиготности.

Это снижение платы, по всей видимости, достигается двумя путями. С одной стороны, проверку мейозом проходят только те инверсии, которые предпочитают негомологичный синапсис. С другой стороны, в выборе между гомологичным и негомологичным синапсисом важную роль играет генотип носителя инверсии. В специальном эксперименте мы показали, что гетерозиготы по одной и той же инверсии, различающиеся по базовому генотипу, сильно отличаются друг от друга и по вероятности образования инверсионных петель, и по их размеру [8].

Если по этому признаку есть генетическое разнообразие, его может использовать отбор. Если в очень нужном геному месте возникает очень нужная инверсия, но склонная к гомологичному синапсису и продукции несбалансированных гамет, дайте время, и естественный отбор заставит ее вести себя прилично.■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 10-04-00008-а) и Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

Литература

1. *Бородин П.М.* // Природа. 2007. №1. С.14—22.
2. *Богданов Ю.Ф.* // Природа. 2008. №3. С.3—9.
3. *Casals P., Navarro A.* // Heredity. 2007. V.99. P.479—480.
4. *Borodin P.M. et al.* // Chromosoma. 1992. V.101. P.374—379.
5. *Moses M.J. et al.* // Chromosoma. 1982. V.82. P.457—474.
6. *Navarro A., Barton N.H.* // Science. 2003. V.300. P.321—324.
7. *Lahn B.T. et al.* // Nature Reviews Genetics. 2001. V.2. P.207—216.
8. *Бородин П.М. и др.* // Генетика. 2005. Т.41. С.602—608.

Вековые дыхания океана

Да будет твердь посреди воды, и да отделяет она воду от воды (глава 1).

Я наведу на Землю потоп водный... (глава 6).

Здесь и далее эпиграфы из Ветхого Завета (Книга Бытия)

В.А.Захаров

Два наиболее значительных события в осадочной геологии, отмеченные сотнями публикаций в самых престижных международных журналах, притягивали внимание мировой научной общественности в течение последних трех десятков лет:

— открытие иридиевой аномалии на границе меловой и палеогеновой систем и привлечение космической импактной гипотезы для объяснения глобальных биотических кризисов в истории Земли;

— трактовка циклически построенных осадочных толщ на основе эвстатики Мирового океана в геологическом прошлом.

Более 30 лет назад группа геологов международной нефтяной компании EXSON предложила новую концепцию последовательности осадочных толщ Земли. В соответствии с ней слои осадочных пород повсюду залегают строго закономерно, образуя совокупности, которые циклически повторяются во времéнном геологическом разрезе. Цикличность связана с периодическими подъемами и падениями уровня Мирового океана в геологическом прошлом — эвстатикой. Новая концепция вызвала огромный интерес у геологов-нефтяников (особенно в США), поскольку позволяла прогнозировать залежи нефти и газа на территориях, еще не охваченных поисковыми работами.



Виктор Александрович Захаров, *доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий отделом стратиграфии Геологического института РАН. Специалист в области палеонтологии, стратиграфии, палеоклиматологии и палеогеографии бореального мезозоя. Заслуженный деятель науки РФ.*

В 1993 г. мы совместно с американским коллегой Д.Сахагяном (D.Sahagian) из Университета штата Огайо (в настоящее время профессор Сахагян — декан факультета Университета г.Лихайо в Пенсильвании) получили трехлетний грант Национального научного фонда США на реализацию проекта «Количественная эвстатика Мирового океана во времени от среднеюрской эпохи до палеогена». Поскольку проведенные исследования до сих пор привлекают внимание специалистов во всем мире (на конец 2010 г. свыше 120 цитирований), мне захотелось познакомить и читателей «Природы» с данной концепцией и полученными нами результатами.

Мировой океан дышит! Тому, кто живет на его берегах, не надо это доказывать: дважды в сутки морская вода заливает полосу суши — часть пляжа или весь, чтобы через шесть часов оголить его, а затем снова покрыть слоем воды, толщина которого в отдельных местах (например, в заливе Шелихова в Охотском море) достигает 9 м, а в некоторых (например, в Японском море) не составляет и полуметра. Приливы и отливы, связанные с притяжением вод океана Луной и Солнцем, строго периодичны, и их действительно можно сравнить с ритмичным дыханием огромного животного. Поскольку у нас нет оснований сомневаться в существовании Солнца и планет Солнечной системы (включая Луну) даже в самом отдаленном геологическом прошлом, можно быть уверенным, что приливы и отливы имели место со времени появления Мирового океана и первородной суши, которая начала размываться, согласно датировкам наиболее древних осадков морского происхождения, не менее 4 млрд лет назад.

Великие потопы и грандиозные осушения в истории Земли

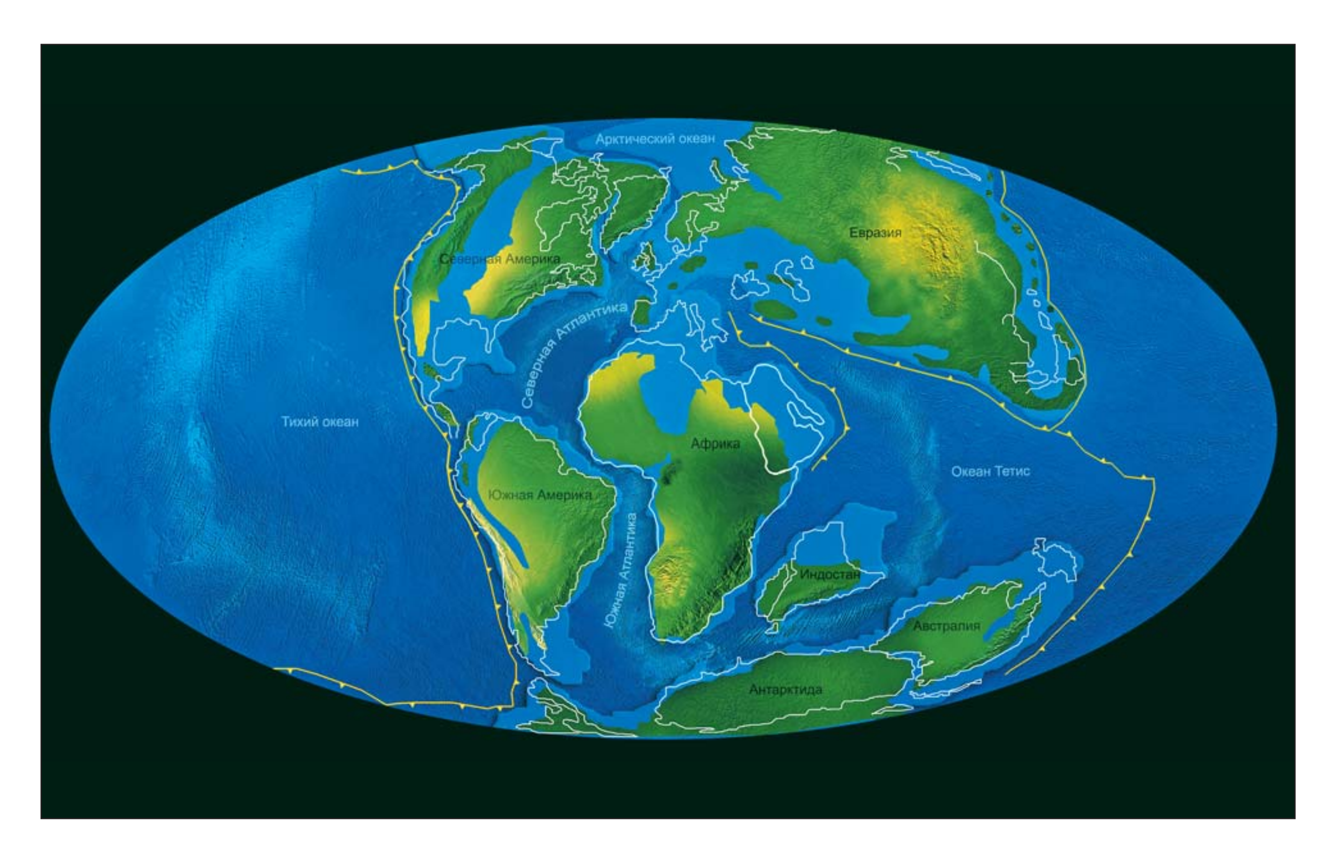
Вода же усиливалась и весьма умножалась на Земле… (глава 7).

Вода же постепенно возвращалась с Земли… и вот обсохла поверхность Земли (глава 8).

Несмотря на внушительный размах приливно-отливных явлений и их повсеместность, широкое распространение морских осадков на суше не связывают с приливами. Даже объединенных усилий Луны и Солнца (сизигийные приливы) недостаточно, чтобы поднять воду на высоту десятков метров. Необходимы даже не столетия, а тысячи и миллионы лет. На это указывают датировки абсолютного возраста минералов в породах, образовавшихся из древних осадков.

Со школьных лет известно, что почти повсюду, где нынче живет человек, в прошлом было море. В представлениях людей экспансии моря на континенты связываются с далекими геологическими временами, но это не совсем так. Море покрывало обширные пространства почти на всех континентах по меркам земной истории сравнительно недавно — в голоцене (четвертичный период), т.е. в то время, когда жил современный человек. Например, всего несколько тысячелетий назад море было распространено на севере Западно-Сибирской равнины, на севере Восточной и Западной Европы и Северной Америки. В исторической памяти человека эти эпизоды вполне могли сохраниться и послужить основой для легенд о Всемирном потопе.

Изучая морские отложения на современной суше, геологи установили, что на протяжении, по-видимому, всей геологической истории Земли (и совершенно определенно с конца рифея) морские воды периодически покрывали значительную часть континентов. Затем вода уходила обратно в океаны, и материки осушались. Эти события — наступления и отступления моря, или трансгрессии и регрессии, чередовались многократно. Динамика исполинского дыхания Мирового океана постоянно уточняется, но и теперь уже ясно, что он дышал аритмично: не устанавливается строгой периодичности в чередовании талассократических (преобладание океана) и геократических (преобладание суши) эпох. Размах затоплений и осушений менялся во времени также незакономерно. Так, по данным В.Е.Хаина, в кембрийском периоде водой было покрыто около 40% суши, в ордовикском — около 55, в силурийском — более 50, в девонском — 50, в каменноугольном — от 40 до 20, в пермском — 20, в триасовом — более 20, в юрском — от 20 до 40, в меловом — 40, в кайнозое — от 0 до 30% [1, 2].



Максимально высокое стояние океана в мезозое (поздний мел, туронский период).

http://scotese.com.jpg

Откуда берется вода?

...Разверзлись все источники великой бездны, и окна небесные отворились: и лил на Землю дождь сорок дней и сорок ночей (глава 7).

Долгое время считалось, что морские воды проникают в глубь континентов лишь в тех местах, где земная кора проседает. Это справедливо для ограниченных территорий, но для объяснения одновременного затопления половины площадей всех континентов такой подход не годится. Чтобы покрыть приподнятую над поверхностью океана сушу, нужны огромные объемы свободной воды. Где ее взять? Возможны лишь два варианта: либо откуда-то появляется «новая» вода, либо какая-то сила вытесняет «старую» из океанического ложа. Первый вариант самый простой: в наше время новая вода в океане может появиться в большом количестве при таянии всех ледников на поверхности Земли. Подсчитано, что в этом случае суша (если ее мысленно выровнять) покроется слоем воды толщиной более 70 м. Учитывая, что суша всегда неровная, этой воды вполне достаточно, чтобы объяснить присутствие морских осадков как в центральной части Сибирской и Русской равнин, так и на Североамериканском континенте. Наиболее убедительный пример такого предположения — широкое географическое распространение морских осадков четвертичного (иногда называемого ледниковым) периода. Чередование ледниковых и межледниковых эпох зафиксировалось в геологической летописи «слоеным пирогом» из ледниковых и морских отложений по северной периферии Евразии и Северной Америки.

Свидетельствами тому, что Земля в своем развитии неоднократно переживала своеобразные зимы — состояния, называемые в зарубежной литературе «icehouse», — служат находки пород с признаками ледниковой обработки — тиллитов (древних морен). Насчитывается более дюжины уровней с этими специфическими объектами в докембрии и фанерозое. Наиболее изученные из них датированы началом вендского периода — 600 млн лет, концом ордовика — 440, концом девона — 380, концом каменноугольного периода — 300 и концом перми — 250 млн лет. Полагают, что высокий уровень в середине венда, начале кембрия, начале силура, конце девона и начале триаса был обязан именно таянию покровных ледяных щитов в районах Северного и Южного полюсов. Дыхания океана, вызванные периодическим существованием многие тысячелетия ледяных полей в приполярных областях (с одновременным сокращением занятых морем площадей) и последующим таянием льдов (с одновременным расширением эпиконтинентальных, т.е. покрывающих сушу морей) вошли в научную литературу как «события гляциоэвстатики».

Однако невозможно объяснить все высокие стояния Мирового океана в истории Земли только гляциоэвстатикой. Во многих временны́х интервалах в докембрии и палеозое, во всем мезозое и в большей части кайнозоя существовал равномерный теплый климат. В отложениях этого возраста нигде на Земле не найдены древние морены. Более того, нет прямых доказательств наличия в мезозое и палеогене ледяных полей даже в приполярных морях. На Земле в интервале 240—30 млн лет назад преобладали тепличные условия («greenhouse»). Следовательно, в течение 210 млн лет новая вода, образующаяся при таянии льда, не могла поступать в Мировой океан.

Тут мы подошли к одной из самых загадочных страниц истории Мирового океана: он продолжал дышать в мезозое, хотя новой воды от таяния льда не поступало. Более того, самый значительный за всю историю мезозоя и кайнозоя выдох океана произошел в конце мезозоя — в позднемеловое время (туронский век). Никогда до и после того морские воды не покрывали столь обширные пространства на Земле. По подсчетам некоторых ученых, водная поверхность океана поднялась над современным уровнем почти на 250 м [2]. Из-за резкого углубления на дне некоторых морей и океанов возникли аноксидные (бескислородные) условия. Откуда же взялась вода? Так как новой воды не было, ответ может быть только один: сушу затопила старая вода, которую что-то вытеснило с ее прежнего места. Геологи все больше склоняются к тому, что этим «чем-то» могли быть подводные океанические горы-хребты — новообразования, которые возникают в зонах растяжения океанической коры за счет вещества, поступающего из внешней подкоровой оболочки — астеносферы. Этот процесс идет и в наше время. Вот как он представляется специалистам.

Сильно упрощая реалии, можно сказать, что находящийся в центре Земли ядерный очаг (жидкое ядро) кипятит окружающие его и находящиеся в размягченном состоянии горные породы. В результате теплообмена создаются круговороты вещества в ячейках. На стыке соседних ячеек горячий материал поднимается к твердой коре, расплавляет ее и частично выходит на поверхность. Затвердевая на периферии шва, через который продолжают поступать новые порции, породы наращивают океаническую кору и раздвигают само дно океана. Избыток вещества, поступающего в зонах раздвига (спрединга) из недр Земли, идет на формирование гор-хребтов. Типичный пример таких образований в последние 130 млн лет — Срединно-Атлантический хребет. Находясь в постоянном движении, плиты сталкиваются между собой. Сближение плит приводит к скучиванию пород и образованию гор (например, Альп и Гималаев). В океане оно сопровождается погружением одной плиты (океанической) под другую (материковую) в так называемых зонах субдукции

(например, погружение Северотихоокеанской плиты Кула в Курильский и Алеутский глубоководные желоба). Этот процесс провоцирует землетрясения на Камчатке, Курильских и Японских островах, подобно недавнему крупнейшему событию на юге о.Хонсю.

Таким образом, в одних местах Мирового океана возникают новые породы и подводные хребты, а в других древние части плит вместе с накопившимися на них осадками погружаются в верхнюю мантию, размягчаются и участвуют в мантийном круговороте. Процесс идет перманентно — то ускоряясь, то замедляясь. Именно поэтому подъемы и падения уровня океана, с одной стороны, периодичны, а с другой — разновелики. Геодинамическая гипотеза, объясняющая вековые дыхания океана, выглядит довольно убедительно.

Как глубоко дышал океан?

И усилилась вода на Земле чрезвычайно, так что покрылись все высокие горы, какие есть под всем небом (глава 7).

По данным Библии, в результате Всемирного потопа над поверхностью Мирового океана торчала лишь вершина Арарата. Таким образом, толщина водного столба, возможно, достигала более 4 тыс. м (вершина Арарата сейчас имеет отметку 5165 м). Для того чтобы поднять воду над поверхностью Земли на такую высоту, потребовалось бы 4 тыс. лет непрерывного дождя (при условии сохранения современных темпов осадконакопления и отсутствия испарения). В научной литературе обсуждаются более скромные, но все-таки впечатляющие цифры максимального эвстатического подъема (до 350 м) в силурийское время [2]. Однако геологам известны случаи, когда толщина слоя воды на континенте (т.е. глубина эпиконтинентального моря) достигала многих сотен метров. Например, глубина Западно-Сибирского позднеюрского моря во время накопления нефтематеринской баженовской свиты в конце юрского и начале мелового периодов составляла, скорее всего, не менее 500 м. Но здесь как раз тот случай, когда региональное погружение совпало с эвстатическим событием.

За какую же часть 500-метрового столба отвечала эвстатика? Ответ на вопрос вряд ли следует искать в погружавшихся областях. Для этих целей наиболее подходят стабильные в геологическом времени блоки Земли — такие, как Русская и Сибирская платформы. Особенно незначительные вертикальные движения испытывала в течение сотен миллионов лет центральная часть Русской платформы, о чем свидетельствуют небольшая мощность осадочных морских отложений (от самых древних, кембрийских, до самых молодых — четвертичных) и отсутствие признаков даже сла-



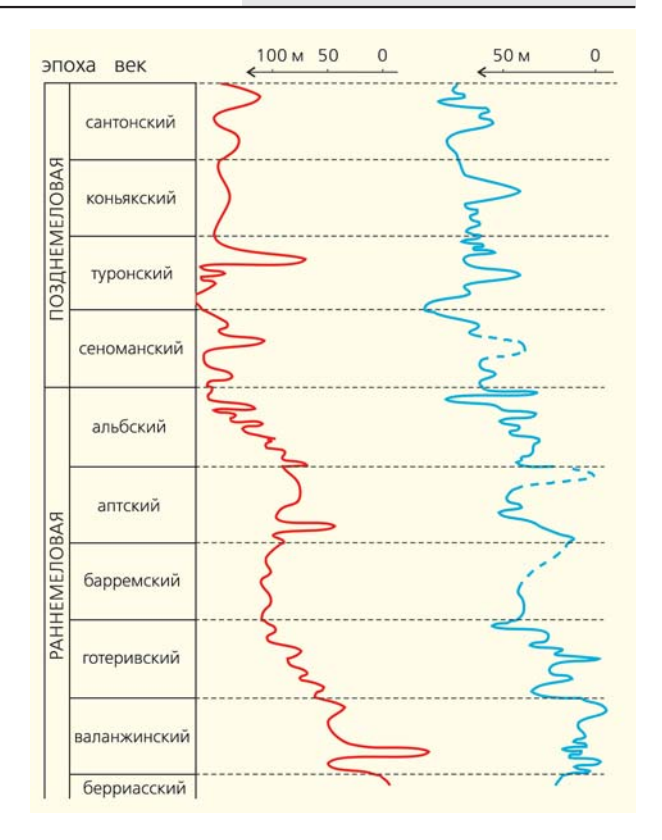
Высокоуглеродистые черные сланцы на границе юрской и меловой систем — временны́е аналоги баженовской свиты Западной Сибири на п-ове Нордвик (море Лаптевых), фиксирующие самое высокое стояние уровня моря в Арктике в мезозое.

бого диагенеза пород. Именно эту часть Русской платформы, а также север и северо-запад Сибирской платформы более 15 лет назад выбрали в качестве объектов совместного американо-российского проекта по количественной оценке эвстатики Мирового океана в мезозое. Результаты работы показали, что максимальное повышение океанических вод в меловой период было менее значительно, чем предполагалось ранее: к середине мела их поверхность поднялась не более чем на 180 м выше современного уровня [4].

Все ли ясно?

Нет, не все. И прежде всего нет однозначного ответа на вопрос: почему инициальные осадки — самые ранние из тех, что ложатся на дно после очередного подъема вод океана (выдоха), — не изохронны (а это доказано) в глобальном распространении? В самом деле, если поступает новая вода или вытесняется старая, она должна одновременно покрывать все места на Земле, находящиеся на одинаковых отметках от среднего уровня моря. Подобные места всегда есть и были на всех континентах. Однако нет ни одного временно́го уровня в геологической летописи, который можно было бы рассматривать как изохронный (в геологическом смысле). Судить о масштабности подъема вод океана (эвстазии) приходится по ограниченному числу точек. Причем только в случае рассеяния их по разным континентам и океанам можно с уверенностью говорить о глобальном характере явления. Таких случаев немного. Не приходится сомневаться, что подъем и падение уровня океана существовали в геологическом прошлом. Почему же так трудно доказывать глобальность события?

В арсенале геологии есть несколько объяснений этому. Наиболее простое — часть осадков размылась в более позднее время. О подобных пробелах в геологической летописи писал еще Ч.Дарвин. Второе объяснение принимается практически всеми: в прошлом (как и ныне) происходили неравномерные вертикальные (наряду с горизонтальными) движения участков земной коры разной амплитуды и разного масштаба. Если на



Кривые флуктуаций уровня моря (дыхание океана) в меловом периоде. Построены на материалах по: пассивным окраинам (слева) [3], Европейской и Сибирской платформам (справа) [4].

какой-то территории одновременно с эвстатическим подъемом вод океана земная кора поднималась с опережающей скоростью, ясно, что эту территорию вода не покроет, а, стало быть, здесь не будет зафиксирована в осадке инициальная фаза подъема воды, или, иначе, трансгрессия.

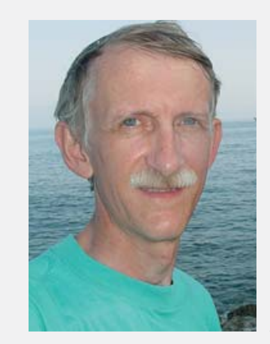
Таким образом, наступление и отступление (трансгрессии и регрессии) морских вод на ограниченные территории и даже в крупные регионы не всегда следует связывать с дыханием океана. Выявление следов дыхания — серьезная проблема, которая должна решаться на основе междисциплинарных исследований.

Литература

1. *Хаин В.Е.* Эволюция обстановок в истории Земли // Эволюция геологических процессов в истории Земли. М., 1993. С.29—38.
2. *Hallam A.* Phanerozoic Sea-Level Changes // Columbia University Press. N.Y., 1992.
3. *Haq B.U., Hardenbol J., Vail P.R.* Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphy and Cycles of Sea-Level Change // Sea-level Changes: an Integrated Approach. Tulsa, 1988. P.71—108.
4. *Sahagian D., Pinous O.V., Olferiev A.G., Zakharov V.A.* Eustatic Curve for the Middle Jurassic — Cretaceous Based on Russian Platform and Siberian Stratigraphy: Zonal Rezolution // AAPG Bulletin. 1996. V.80. №9. P.1433—1458.

Наездники под водой

В.Н.Фурсов



Виктор Николаевич Фурсов, *кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института зоологии НАН Украины (Киев). Специалист по систематике и биологии паразитических перепончатокрылых насекомых. Работает на территории Украины, России, Англии, Венгрии, Ирландии, Мексики и Японии. Живые водные наездники, собранные автором, были использованы в фильме Д.Аттенборо «Жизнь в микромире»(2005).*

В опере выдающегося русского композитора Н.А.Римского-Корсакова «Сказка о царе Салтане» есть, если можно так выразиться, энтомологический эпизод — знаменитый «Полет шмеля». Интересно, что сын композитора — Михаил Николаевич Римский-Корсаков — стал известным лесным энтомологом и, в частности, нашел и изучил в окрестностях Санкт-Петербурга водных наездников, плавающих под водой с помощью ног и даже крыльев [1—4].

Наездники — это удивительные насекомые отряда перепончатокрылых, к которому относятся также пилильщики, пчелы, шмели, осы и муравьи. Некоторые из них поедают листья растений, другие мирно собирают пыльцу и нектар, третьи хищничают, и почти все из них заботятся о потомстве. Наездники делают это особенно изощренно: самки откладывают свои яйца в яйца хозяина, на поверхность или внутрь личинок и даже взрослых насекомых, пауков, иксодовых клещей и даже нематод, превращая их в живой питательный субстрат для своего потомства, а на свет выходит новый наездник. Развивающаяся личинка наездника, питаясь тканями хозяина, всегда его убивает, поэтому, в отличие от обычных паразитов (которые «не заинтересованы» в гибели кормильца-хозяина), наездников называют паразитоидами. Правда, есть среди наездников и «вегетарианцы», точнее фитофаги. Их личинки живут внутри вздутий (галлов) растений, питаясь их соками или семенами.

Наездники вездесущи и специфичны: каждый вид наездника приспособлен к тому, чтобы использовать в качестве «питательного субстрата» определенную группу хозяев, а иногда — только один единственный вид.

На суше все понятно — крылатые наездники найдут своих хозяев. Но ведь многие насекомые освоили водную среду. Найдут ли их там наездники? Под водой и около воды живут личинки насекомых многих групп. Это водные жуки (плавунцы, водолюбы, вертячки, листоеды),





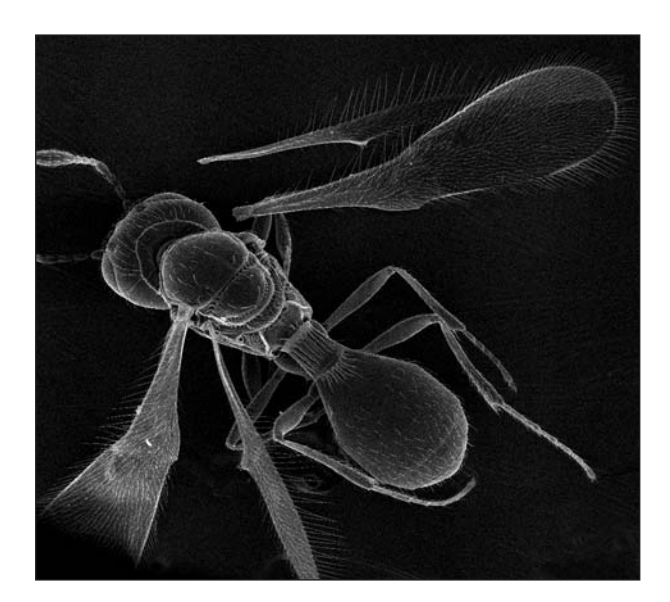
Самки водных наездников: *Prestwichia solitaria* (слева) и *Lathromeroidea silvarum*.



Заросли растения *Alisma plantago* — место обитания водных наездников. На врезке — полет самки *L.silvarum* под водой. Здесь и далее фото автора

клопы (водомерки, гладыши, гребляки), стрекозы, двукрылые (мухи-львинки, слепни, журчалки), ручейники, вислокрылки, некоторые бабочки. Они обитают на камнях, на грунте, на растениях, а также внутри водных растений или на их поверхности около воды [1, 4].

Взрослые насекомые (энтомологи называют их имаго) могут жить около воды (стрекозы, некоторые мухи, бабочки, ручейники и многие другие) или под водой (водные клопы и жуки). Самки откладывают яйца в воду, около воды, на поверхность или внутрь тканей водных и околоводных растений. Вылупившиеся из этих яиц личинки попадают в воду, где и находят подходящую среду для своего развития. Выросшие личинки окукливаются или в воде, или около воды, в грунте или внутри растений. Под водой и около воды обитают и некоторые виды





Самки водных наездников: *Tiphodytes gerriphagus* (слева) и *Prestwichia aquatica*.



Длиннокрылая самка *P.aquatica*.

пауков (которые, как известно, вовсе не насекомые).

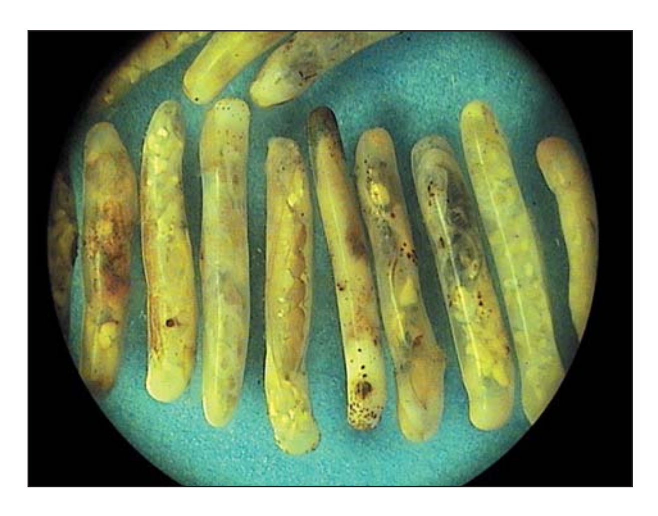
Оказывается, наездники способны находить хозяев для своих личинок и под водой, не щадя при этом ни своих собратьев-насекомых, ни водных пауков. Первые водные наездники *Prestwichia aquatica* и *Caraphractus cinctus* (размером 0.7—1.2 мм) были описаны в Англии, где сэр Джон Леббок в 1863 г. впервые отметил их способность двигаться под водой, при этом один вид использует для передвижения ноги, а другой — крылья [5]. Самки наездника préствичии водной (*P.aquatica*) активно плавают под водой с помощью ног в поисках яиц водных жуков-плавунцов (*Dytiscidae*) и водных клопов (*Notonectidae*). Обычно эти яйца хорошо спрятаны — они откладываются в погруженные под воду мягкие воздухоносные стебли частухи, стрелолиста, белокрыльника и некоторых других растений. Близкий вид, наездник преcтвичия одиночная (*P.solitaria*), обычно заражает яйца жуков-плавунцов и стрекоз, отложенные в стебли кубышки, кувшинки и других плавающих на поверхности воды растений [6].

Оболочка яиц жука-плавунца полупрозрачна и позволяет наблюдать за развитием личинок наездника. Внутри огромного (по сравнению с яйцами наездника) яйца плавунца хорошо видны развивающиеся личинки, а потом и куколки. Куколки темнеют — и вот из них выходят прямо в воду взрослые наездники. Так происходит у большинства видов водных наездников. Правда, среди них есть такие, которые вынуждены откладывать свои яйца в яйца личинок и куколок насекомых вне воды.

Преcтвичии чувствуют себя в воде как в родной стихии. Они живут под водой до 15 дней, а вынутые из воды, активно ее пьют, беспокойно бегают и стараются погрузиться обратно в воду. Оставленные без воды, эти «ихтиандры» мира насекомых гибнут через 5—10 мин. Они легко вылезают из воды, но также легко и быстро ныряют в нее с поверхностной пленки или с растений. Самки одного и того же вида преcтвичии водной имеют две формы: с длинными и с короткими крыльями. Однако самки даже с крупными длинными крыльями с пушистой краевой бахромкой волосков практически не летают, а только прыгают на 10—20 мм, слегка расправив крылья. До сих пор неясно, зачем нужны виду две формы самок: длиннокрылая и короткокрылая. Самки плавают под водой в разных направлениях со скоростью 5—7 мм/с. Однако пользуются они при этом только ногами, делая семь гребков в секунду, а крылья при этом всегда сложены за спиной [1—4, 6, 7]. На суше самки двигаются помедленнее — 2.8—3.5 мм/с, делая приблизительно пять шагов за пару секунд [7].

Пока речь шла только о самках. А как ведут себя самцы? Увы, им не дано испытать радости жизни на воле. Обычно маленькие и бескрылые самцы преcтвичии спариваются с самками еще внутри яйца жука-плавунца, после чего погибают, не выходя наружу [1—4, 6].

Зато у другого вида — *Baeus japonicum* — самки не имеют крыльев, а самцы, наоборот, крылатые. Личинки этого вида развиваются в коконах около-





Личинки и куколки водных наездников внутри яиц плавунцов: *P.aquatica* — в *Dytiscus* sp. (слева) и *C.cinctus* — в *Agabus* sp.

водных пауков. И самцы, и самки выбираются из коконов хозяина во внешнюю среду, но самки умеют только ползать, не прилипая к паутине хозяина, и выглядят как маленькие блестящие шарики [8].

У водного наездника *Caraphractus cinctus* и самцы, и самки крылатые, но летают они и в воздухе, и в воде, при этом машут крыльями, как веслами. Длинные и узкие, без бахромки, крылья позволяют наездникам короткими рывками быстро двигаться под водой. У этого вида тоже встречаются самки двух форм: длиннокрылые и короткокрылые, причем последние тоже пользуются для плавания крыльями, но движутся гораздо медленнее длиннокрылых. В отличие от прествичии, наездники из рода *Caraphractus* совсем не пользуются ногами при плавании [1—4, 6]. Эти наездники развиваются в яйцах жуков-плавунцов (*Dytiscus, Agabus, Acilius*), которых они находят в стеблях водных растений под водой.

Другой водный наездник, *Tiphodytes gerriphagus,* — один из чемпионов по скорости плавания под водой (около 7—10 мм/с), при этом пользуется он узкими, длинными, покрытыми мелкими волосками крыльями [9, 10]. Самки *Tiphodytes* заражают яйца клопов-водомерок (*Gerridae*), отложенные на подводную поверхность водных растений — водяного ореха, лягушечника, рдеста и других растений.



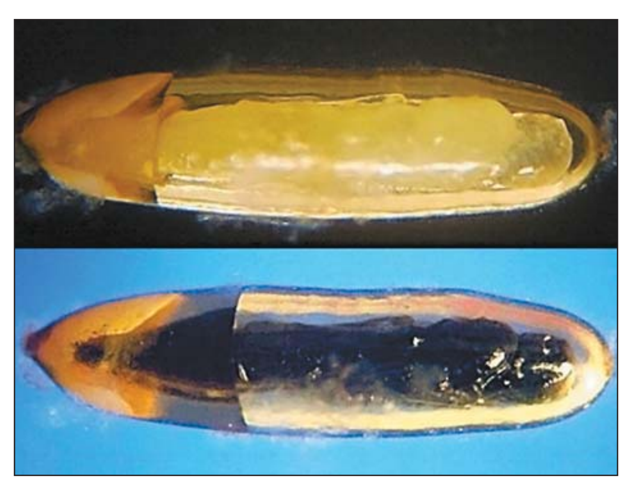
Самка *L.silvarum* заражает кокон жука-водолюба.

Мне посчастливилось обнаружить, что плавать под водой могут еще два вида наездников — *Aprostocetus natans* и *Lathromeroidea silvarum* [6, 11, 12]. Самки *L.silvarum* откладывают яйца по одному в яйца жуков-водолюбов (*Hydrophilidae*), прикрепленные к поверхности растений под водой [12]. Плавая, *L.silvarum* активно взмахивает широкими крыльями, при этом поднимает их выше спинки — подобно движениям при полете в воздухе. Наездник *A.natans*, хотя и получил видовое название *natans*, что означает «плавающий», делает это несколько медленнее [11].

У наездника *Caloteleia shimurai,* личинки которого развиваются в яйцах стрекоз, отложенных внутри стеблей водных растений [13], взрослые особи имеют гладкое и скользкое тело, не покрытое волосками, как у прествичии. Возможно, что это специальная адаптация для погружения насекомого в воду.

Форма крыльев наездников и их опушение связаны с тем, как ими пользуется подводный пловец. У обитающего в тропиках





Самка *Caloteleia shimurai* (слева) и ее личинки и куколки в яйце стрекозы. Фото Ш.Шимура.

(в Аргентине, Мексике, Бразилии, Коста-Рике) *Hydrophylita aquivolans* крылья имеют форму длинных узких лент с бахромкой из длинных волосков. Наездники этого вида могут не только «летать» под водой, но и парить в ее толще, как это делают многие планктонные организмы. А некоторые, такие например, как *Prestwichia multiciliata*, способны быстро скользить по поверхностной пленке воды, подобно клопам-водомеркам, при этом они быстро размахивают крыльями, как конькобежец, набирающий скорость на льду.

Водные наездники (*Caraphractus, Hydrophylita, Lathromeroidea)*, которые используют крылья для передвижения под водой, умеют летать и в воздухе. Переход из воды в воздух происходит так: наездник прилипает к поверхностной пленке, пролезает сквозь нее, быстро чистится и взлетает. Некоторые наездники (рода *Anaphes*) плохо двигаются под водой, но прекрасно летают.

Как же распространяются водные наездники, как находят новые места обитания? Крылатые виды переносятся ветром — как своего рода воздушный планктон (аэропланктон). Стебли растений с яйцами хозяев и наездниками внутри переносятся течением. Мы обнаружили, что водные наездники прествичии зимуют под водой внутри яиц хозяев в стеблях водных растений, которые отмирают и опускаются на дно водоемов. Весной, в половодье, стебли растений с наездниками могут переноситься на многие километры. Известен у водных наездников и случай форезии. Этим термином биологи обозначают такое явление, когда один вид переносит другой. Исследователи из США наблюдали, как 10 экземпляров наездников из рода *Thoronella* перелетали на пушистой поверхности тела стрекозы [14].

Водные наездники встречаются почти на всех континентах [6, 15]. Так, представители уже упоминавшегося рода *Prestwichia* найдены в странах Европы, в Индии, Китае, Японии и США. Неизвестно, живут ли они в Австралии и Африке, однако, вероятно, есть и там, просто пока не найдены.

Водные наездники демонстрируют интересный пример смены функций в животном мире, когда орган, созданный для полета (крылья), используется для движения в воде. Такие примеры существуют в мире позвоночных. Многие околоводные птицы, ныряя в погоне за рыбой на сотни метров, используют для плавания крылья — по существу летают под водой, а пингвины вообще превратили крылья в ласты. Однако в мире насекомых только наездники сумели применить такой специализированный орган, как крыло, для плавания в воде. ■

Литература

1. *Райков Б.Е., Римский-Корсаков М.Н.* Зоологические экскурсии. М., 1994.
2. *Римский-Корсаков М.Н.* Биологические наблюдения за водными перепончатокрылыми // Русск. энтомол. обозр. 1916. Т.16. №3—4. С.209—225.
3. *Римский-Корсаков М.Н.* Перепончатокрылые (Hymenoptera) // Жизнь пресных вод СССР / Ред. В.И.Жадина. М., 1940. Т.1. С.150—165.
4. *Rimsky-Korsakov M.N.* Methoden zur Untersuchung von Wasserhymenopteren // Handbuch der Biologischen Arbeitsmethoden v Abderhalden. 1931. Bd.9. №1. S.227—258.
5. *Lubbock H.* On Two Aquatic Hymenoptera, One of Which Uses Its Wings in Swimming // Trans. Linn. Soc. Lond. 1863. V.24. P.135—142.
6. *Fursov V.N.* A Review of Chalcidoidea (Hymenoptera) Parasitizing the Eggs of Aquatic Insects in Europe // Bull. Irish Biogeograph. Soc. 1995. V.18. №1. P.2—12.
7. *Shumakova I., Fursov V.N., Gladun D., Frantsevich L.I.* Swimming in *Prestwichia aquatica* Lubbock (Hymenoptera, Chalcidoidea, Trichogrammatidae) // Entomologia Generalis. 2004. V.1. P.55—65.
8. *Кононова С.В., Фурсов В.Н.* Обзор палеарктических видов рода *Baeus* (Scelionidae) — паразитов яиц пауков (Arachnida) // Зоол. журнал. 1999. Т.78. №11. С.1284—1291.
9. *Inokuchi M., Yamagishi K.* Do you Believe a «Swimming Wasp»? // Esakia. 1999. V.39. P.9—11.
10. *Henriquez N.P., Spence J.R.* Host Location by the Gerrid Egg Parasitoid *Tiphodytes gerriphagus* (Marchal) (Hymenoptera: Scelionidae) // Journal of Insect Behavior. 1993. V.6. №4. P.455—466.
11. *Фурсов В.Н., Костюков В.В.* Новые виды рода *Tetrastichus* (Hymenoptera, Eulophidae) — паразиты яиц стрекоз и жуков-плавунцов // Зоол. журнал. 1987. Т.66. №2. С.217—228.
12. *Fursov V.N.* New Data on the Biology of the Aquatic Wasp *Lathromeroidea silvarum* Now. (Chalcidoidea, Trichogrammatidae) — an Egg-Parasitoid of Water Beetles (Hydrophilidae and Dytiscidae) // Russian Entomol. Journal. 2004. V.13. №3. P.1—5.
13. *Кононова С.В., Фурсов В.Н.* Обзор родов *Calotelea*, *Calliscelio* и *Oxyscelio* (Scelioninae, Scelionidae, Proctotrupoidea) фауны Палеарктики // Зоол. журнал. 2007. Т.86. №1. С.52—65.
14. *Carlow T. Thoronella* sp. (Hymenoptera: Scelionidae) Discovered on the Thorax of an Aeshnidae (Anisoptera) // Notulae Odonotologicae. 1992. V.3. P.137—156.
15. *Bennett A.M.R.* Global Diversity of Hymenopterans (Hymenoptera; Insecta) in Freshwater // Hydrobiologia. 2008. V.595. №1. P.529—534.

Уникальные амфибии в Монголии

Х.Мунхбаяр,
доктор биологических наук
М.Мунхбаатар,
кандидат биологических наук
Монгольский государственный университет образования

В монгольском фольклоре — легендах, загадках и даже песнях — лягушка нередко фигурирует как главный персонаж. У монголов был хороший обычай не истреблять разных животных, в том числе и амфибий. Сейчас их тоже не истребляют непосредственно, но тем не менее численность некоторых видов снижается, и они попадают на страницы Красной книги как нуждающиеся в охране. Главная причина, по которой сокращается обилие амфибий, — высыхание водоемов. По данным Министерства охраны природы Монголии, за 2006—2008 гг. из 5100 малых рек и ручьев исчезли 852; из 9306 родников осталось 2277; из 3747 постоянных и временных озер уже не существуют 1181.

Монголия не может похвастаться обилием видов земноводных, их всего шесть. Да и как ожидать иного в стране, где условия для этих животных никак не назовешь идеальными: поздно наступает весна, выпадает мало осадков, рано начинаются осенние заморозки (в конце августа — начале сентября) и часто случаются засухи. Поэтому и распространены лишь наиболее экологически пластичные виды, притом на самых «обводненных» территориях.

Из хвостатых амфибий встречается только сибирский углозуб (*Salamandrella keyserlingii*). У нас он обитает лишь в северной части страны: в Дархатской котловине, на южном берегу оз.Хубсугул, в урочище Шамар, что выходит к р.Орхон, и вблизи пос.Биндэр, а также в устьях рек Эгийн-Гол и Тэсийн-Гол. Все эти места находок совпадают с южной границей вечной мерзлоты в Монголии. А вообще распространен этот вид в Сибири, на Камчатке, Курильских о-вах, в Японии, западнее Урала известен в Коми и Нижегородской обл. На севере ареал углозуба заходит за Полярный круг, а на юге — в Северо-Восточный Китай и Корею. Этот единственный из хвостатых амфибий вид как редкий и исчезающий внесен в «Красную книгу Монголии».

Монгольские бесхвостые амфибии принадлежат трем семействам: жабам, квакшам и лягушкам.



Сибирский углозуб.

Здесь и далее фото авторов

Первое семейство включает жабу Певцова (*Bufo pewzowi*), которая обитает в Джунгарии, и монгольскую (*Bufo raddei*).

Монгольская жаба — самая широко распространенная амфибия, ее ареал простирается от котловины Больших озер на западе до Халхин-Гола на востоке, а на севере от границы с Россией до пустыни Гоби. Популяции монгольской жабы часто располагаются далеко друг от друга, иногда более чем за сотни километров, но генетически они однородны. Обусловлено это тем, что во время периодических наводнений исчезают географические преграды и популяции сливаются, а значит, становится возможным обмен генетической информацией. В 2008 г. в восточной части Монголии летом (в конце июня — начале июля) прошли ливневые дожди, вызвавшие затопление всевозможных понижений (сухих русел, котловин). В результате даже образовались временные реки и озера, и все они были заселены головастиками. Когда вода ушла, жабы остались только в подходящих для жизни местах, разделенных значительными расстояниями. Из-за такого периодически случающегося слияния и отсутствует географическая изменчивость монгольской жабы. В 2008 г. мы встретили в двух небольших прудах неполноценных сеголеток этого вида жабы: в одном, что







Жаба Певцова (слева внизу), монгольская жаба и ее новое местонахождение (вверху) в Восточногобийском аймаке.

находится в пойме Керулен-Гола (близ г.Чойбалсан), их было 46%, в другом (в урочище Манхаадай на Онон-Голе) — 35%. С чем связана такая неполноценность, пока неясно.

Жаба Певцова, которая, как и монгольская, относится к группе зеленой жабы (*Bufo viridis*), обитает в Джунгарии. Здесь Л.Я.Боркин, Х.Тербиш и И.А.Цауне в 1980-х годах обнаружили тетраплоидных особей в популяции группы зеленой жабы и условно отнесли их к среднеазиатскому виду (*Bufo danatensis*). Позже выяснилось, что среднеазиатская жаба и жаба Певцова — один и тот же вид, причем единственный в Евразии с тетраплоидным набором хромосом.



Дальневосточная квакша.



Нормальная сибирская лягушка и альбинос.



Дальневосточная лягушка (внизу) и ее местообитание — урочище в пойме Халхин-Гола.



Из семейства квакш в Монголии встречается только один вид — дальневосточная квакша (*Hyla japonica*). Она была обнаружена всего в трех местах: около пос.Шаамар на берегу Орхон-Гола, в урочище Тулгатын-Даваа и в прибрежье Ероо-Гола, в среднем течении реки. В 2008 г. в восточной части Монголии проводилось маршрутное исследование герпетологическим отрядом Совместной Российско-Монгольской комплексной экспедиции. В состав входили Л.Я.Боркин (начальник российской части отряда), С.Н.Литвинчук, студенты П.Золжаргал и Л.Батчудэр, авторы статьи и еще энтомолог О.Г.Горбунов. Именно тогда и было обнаружено еще одно место, где обитает дальневосточная квакша. Это Халхин-Гол в самой восточной части страны. Как редкий вид *H.japonica* внесена в «Красную книгу Монголии».

В семействе лягушек на территории Монголии известны два вида: сибирская (*Rana amurensis*) и дальневосточная (*R.chensinensis*).

Первый вид распространен сравнительно широко — от государственной границы на востоке до Хангайских гор на западе и по всей северной части страны до среднего течения Туул-Гола. В последние годы численность сибирской лягушки сокращается, а в пригородах она даже исчезает. Например, в 1980-х годах *R.amurensis* была обычной в окрестностях Улан-Батора, теперь же почти не встречается вблизи города. Два года назад мы обнаружили альбиноса на Шатангийн-Голе. Это был взрослый самец оранжевого цвета и с красными глазами, без характерных для вида пятен и рисунка на теле. Альбинизм сибирской лягушки еще не был известен во всем мировом ареале этого вида. Мы предполагаем, что такое изменение могло быть следствием загрязнения окружающей среды разного рода веществами, в том числе химическими.

Второй вид, дальневосточная лягушка, распространена на ограниченной части Монголии: на реках Халхин-Гол и Нумругин-Гол. Кроме того, она найдена в нескольких изолированных от основного ареала местах — на вулканическом плато в Дарь-Ганге и на Хонгорын-Голе.

Наша страна небогата видами амфибий, но среди них есть уникальные, например тетраплоидная жаба Певцова и альбинос сибирской лягушки, о которых здесь и шла речь.■

Заметки и наблюдения

Берега островов Андаманского моря

Г.Ф.Уфимцев,
доктор геолого-минералогических наук
Институт земной коры СО РАН
Иркутск

При изучении рельефа земной поверхности геоморфолог нередко встречается с ситуациями, когда сходные формы рельефа или морфологические ландшафты имеют разное происхождение. Это явление называется геоморфологической конвергенцией, а участвующие в нем формы рельефа можно назвать геоморфологическими обманками. Чем большие территории мы охватываем своими исследованиями, тем чаще встречаемся с этим явлением, для полного теоретического осмысления которого требуется создание добротной фактологической основы. Примеры геоморфологической конвергенции можно увидеть, совершив путешествие на острова восточной части Андаманского моря, в район перешейка Кра (Таиланд).

Приливно-отливные каналы. С геоморфологической обманкой встречаешься еще на подлете к о.Пхукет. В иллюминатор самолета видны восточное и северное побережья острова, прорезанные глубоко вдающимися в сушу заливами или даже протяженными узкими проливами. Они напоминают приустьевые участки речных долин, подтопленные при медленных повышениях уровня моря или тектонических погружениях, при вторжениях (ингрессиях) моря в понижения субаэрального рельефа. Значит, это тектонические погружения? Но при первой же экскурсии обнаруживается, что бухты и узкие проливы представляют собой приливно-отливные каналы среди мангровых зарослей, распространенных на литорали.



Приливный канал в манграх северо-восточного побережья о.Пхукет.

Здесь и далее фото автора

Высота приливов здесь достигает 3 м. Мангры характерны не только для береговой зоны о.Пхукет, но и для акватории расположенного восточнее и северо-восточнее залива Пханг Нга. Здесь они тоже прорезаны извилистыми приливно-отливными каналами, похожими на затопленные морем речные долины.

Карстовые горы. Острова и восточное побережье залива Пханг Нга, отделенного на западе от акватории Андаманского моря островом Пхукет, сложены преимущественно известняками, и это район распространения наружного тропического карста. Известняковые низкие горы резко обрываются к морю или побережью отвесными скалами, которые либо опираются на наклонную подгорную поверхность, обрамляющую карстовые массивы, либо основаниями уходят под воду и создают основу великолепных морфологических ландшафтов. На крупных островах горные массивы представляют собой сочетания призматических и цилиндрических вершин или гор с округленными выпуклыми навершиями, как правило, покрытыми густой тропической растительностью. Эти формы наружного карста разделены ущелистыми проходами, которые могут расширяться в береговой зоне, превращаясь в узкие проливы или бухты. Последние могут возникать за счет перекрытия проливов косами-пересыпями (томболо). Образованные острова поднимаются над морем живописными скальными стенками. В их основании обычно располагаются прибрежные ниши, вдающиеся в скальные массивы на глубину более 6 м. От них, в свою очередь, вниз уходят пещеры, нередко пересекающие острова, имеющие подводное дно и представляющие, таким образом, подземные (карстовые) проливы.

Карстовые горы островов и побережья залива Пханг Нга похожи не на близкие им географически ландшафты наружного карста Южного Китая (провинция Гуанси), а на кубинские известняковые холмы «моготе», с которыми их сближают массивность форм и небольшая ширина разделяющих их ущелистых проходов.



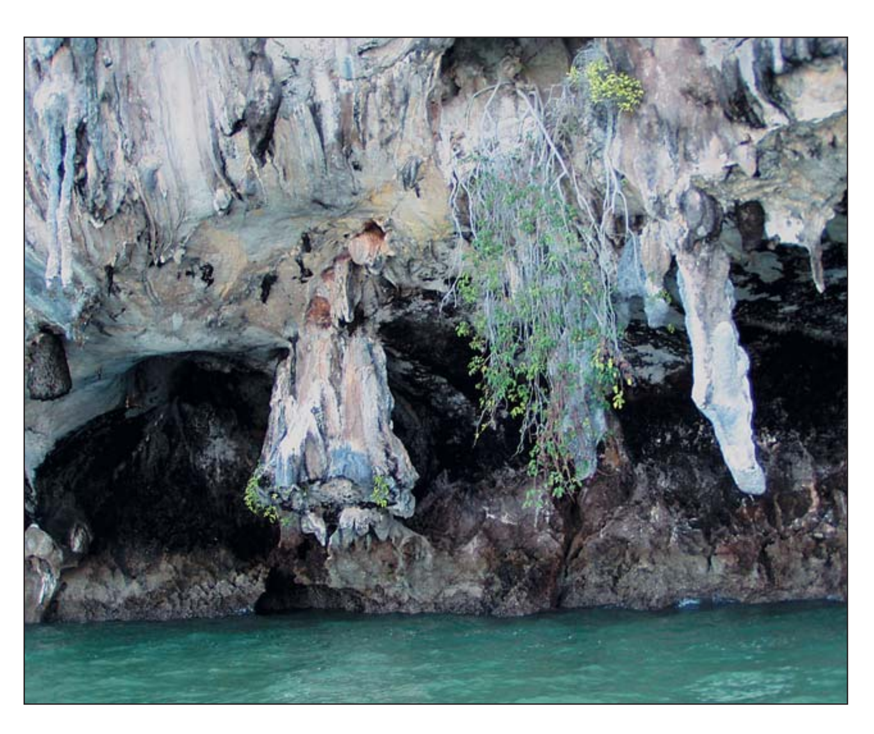
Наружный тропический карст о-вов Пи-Пи, расположенных в 50 км от о.Пхукет.

Малые острова на акватории залива Пханг Нга — это одиноко возвышающиеся над морской гладью столбчатые или цилиндрические формы высотой до 100 м и диаметром в основании не более нескольких десятков метров. Они часто ограничены нависающими скала-



Узкие щели и проливы в карстовом массиве и карстовые столбообразные останцы.

Гирлянды наружных сталактитов на береговых скалах острова в архипелаге Пи-Пи.



Карнизные и потолочные сталактиты в приподошвенных нишах растворения.

ми и придают особую живописность ландшафту. Самый известный из них — о.Джеймса Бонда, вокруг которого кипели киношные подвиги агента 007. Он, как и другие ему подобные острова, внешне напоминает абразионные останцы-кекуры. Но, в отличие от последних, располагающихся в береговой зоне на абразионных платформах, это останцы наружного карста, изолированно возвышающиеся на открытой акватории залива. Их можно назвать карстовыми кекурами. И они тоже — геоморфологические обманки, весьма правдоподобно копирующие настоящие кекуры.

Береговые стенки карстовых гор и массивов. На их вершинах, покрытых густой тропической растительностью, над трещинами заметны многочисленные ребристые скальные вы-

ступы и рвы. Процесс химического растворения (выщелачивание) известняков здесь идет наиболее интенсивно. Этому способствует растительность, поставляющая органические кислоты. В свою очередь, раскрытие трещин при растворении карбонатного материала и заполнение их рыхлым остатком создают благоприятные условия для развития растительного покрова. А вот нижние части скальных стенок, напротив, голые и гладкие, и здесь происходит по крайней мере частичное осаждение карбонатного вещества. Его натеки заполняют трещины в коренной породе, лишая растительность возможности закрепиться. На выступах скальных стенок и натеков формируются в виде причудливых гирлянд наружные сталагмиты. Таким образом, нижние части береговых стенок имеют аккумулятивное, а не абразионное (обычное для береговых скал) происхождение.

В основании береговых стенок располагаются **приподошвенные ниши** с плоским, часто подводным днищем и вогнутым потолком с редкими сталактитами. Зато многочисленные сталактиты нависают над нишей от ее карниза. Они образуют своеобразные занавеси. Нижние ограничения карнизных сталактитов располагаются на одном уровне, соответствующем высоте максимальных приливов.

Характерные черты приподошвенных ниш говорят об их особенном образовании — это не абразионные формы, а результат растворения карбонатного вещества в зоне приливно-отливных воздействий. К днищам ниш привязаны многочисленные пещеры и щелевидные проходы-промывы в островных известняковых массивах. Иногда на уровне высокого прилива в нишах присутствует ступень-прилавок. Здесь можно видеть «грубые» сталагмиты с шероховатыми (последующее растворение?) поверхностями, что, впрочем, свойственно и поверхностям ступеней-прилавков со своеобразной, типа карров, ребристостью.



Натечные стенки, наружные и карнизные сталактиты над приподошвенной нишей растворения.

У читателя все-таки может возникнуть сомнение: правильно ли автор считает приподошвенные ниши карстовыми, а не абразионными формами? Вот еще один аргумент: рядом с нишами вода всегда такая чистая и прозрачная, что на дне часто растут колонии кораллов. Абразионное же воздействие моря на берега неизбежно сопровождается появлением мути.

Приподошвенные ниши растворения, морфологически ана-



Курчавые скалы и каменные шары на о-вах Симилан.

логичные абразионным нишам и забоям, — очередная геоморфологическая обманка. Из типичных форм рельефа в береговой зоне тропического моря встречаются лишь редкие обвалы. Сами же скальные стенки и карстовые останцы, благодаря растворению известняков в верхних частях и осаждению карбонатного материала внизу, в конечном счете проседают. Столбообразные карстовые кекуры при этом постепенно приобретают грибообразную форму. Следует отметить, что глубина внедрения приподошвенных ниш в скальный массив в значительной мере определяется ростом (утолщением) натеков на нижних частях скальных стенок. Получается, что типичные, казалось бы, формы абразионной деятельности моря в действительности — карстовые (и аккумулятивные в том числе) образования.

Курчавые скалы и каменные шары. Другие морфологические ситуации наблюдаются на западном побережье о.Пхукет и на о-вах Симилан, сложенных кристаллическими гранитоидными породами. Первые впечатления при посещении островов: пляжи в глубине бухт сложены каким-то особенно мягким («мучнистым») мелкозернистым коралловым песком, их обрамляют гранитные скалы, а на берегах и мысовых выступах возвышаются гигантские каменные шары. Последние привычно принимаешь за абразионные формы, тем более что поверхности и скал, и каменных шаров выпуклые, ровные и словно обработанные морским прибоем и приливами. Но... Довольно быстро замечаешь, что ровные скальные поверхности поднимаются по склонам на десятки метров над уровнем моря — до высот, недоступных воздействию морского прибоя или приливов. Более того, подобные же курчавые скалы выступают из-за пышной растительности и в средних, и в верхних частях склонов. Они представляют собой образования, определенно не связанные с береговой зоной. Сразу вспоминаешь — где еще встречается похожее: комбинации выпуклых гладких скальных поверхностей, шарообразных скал и отдельных каменных шаров? Выбор богат, и особенно в климатическом отношении. Это курчавые скалы ложа ледников; выпуклые скальные выступы и шаровидная отдельность на склонах в экстрааридных областях (включая знаменитые «дьявольские шары» Теннант-Крик в Центральной Австралии), курчавые скалы и шаровидные выступы на Центральном нагорье Шри-Ланки, сахарные головы Рио-де-Жанейро, шары на берегах Сейшельских о-вов и о.Хайнань. И везде мы обнаруживаем, что такие живописные скалы имеют субаэральное происхождение. Говоря образно, они спускаются с гор к морю и в береговой зоне оказываются уже готовыми (остаточными) формами. На о-вах Симилан можно увидеть и уменьшенные копии «сахарных голов» Рио-де-Жанейро, ровные выпуклые поверхности которых обращены как к морю, так и в сторону островной суши. На их вершинах стоят каменные шары, подобные австралийским «дьявольским шарам». Как видите, это сплошные геоморфологические обманки, которые могут служить для тщательного изучения геоморфологической конвергенции.

Конечно, курчавые скалы и каменные шары в береговой зоне так или иначе подвергаются воздействиям приливов и волновой деятельности. Но в сравнении с результатами субаэральных процессов эти воздействия неизмеримо малы. На скалах о-вов Симилан они приводят к образованию лишь эмбриональных волноприбойных ниш глубиной не более 20 см — по сути дела, системы небольших выбоин в основаниях скальных поверхностей, выработанных до высоты максимального прилива. В основном же выпуклые ровные скальные поверхности в экваториальных условиях формируются в наземной обстановке, причем в таком морфологическом виде, который способствует быстрому сбросу атмосферных осадков и препятствует закреплению на них растительного покрова. Это тормозит развитие процессов химического выветривания, столь интенсивных под пологом тропического леса, и способствует длительному существованию в условиях динамического равновесия выпуклых гладких поверхностей и скал.

Как видите, даже кратковременное путешествие в низкие широты раскрывает геоморфологу особенный мир морфогенеза в условиях влажных тропиков, мир, рельеф которого очень похож на рельеф средних широт гумидного пояса Северного полушария, но образовался вследствие совсем других процессов. И такая встреча с, казалось бы, привычными по форме, но имеющими иное содержание объектами всегда стимулирует мысль и желание постичь сложные законы формирования и жизни рельефа земной поверхности. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 08-05-00105.

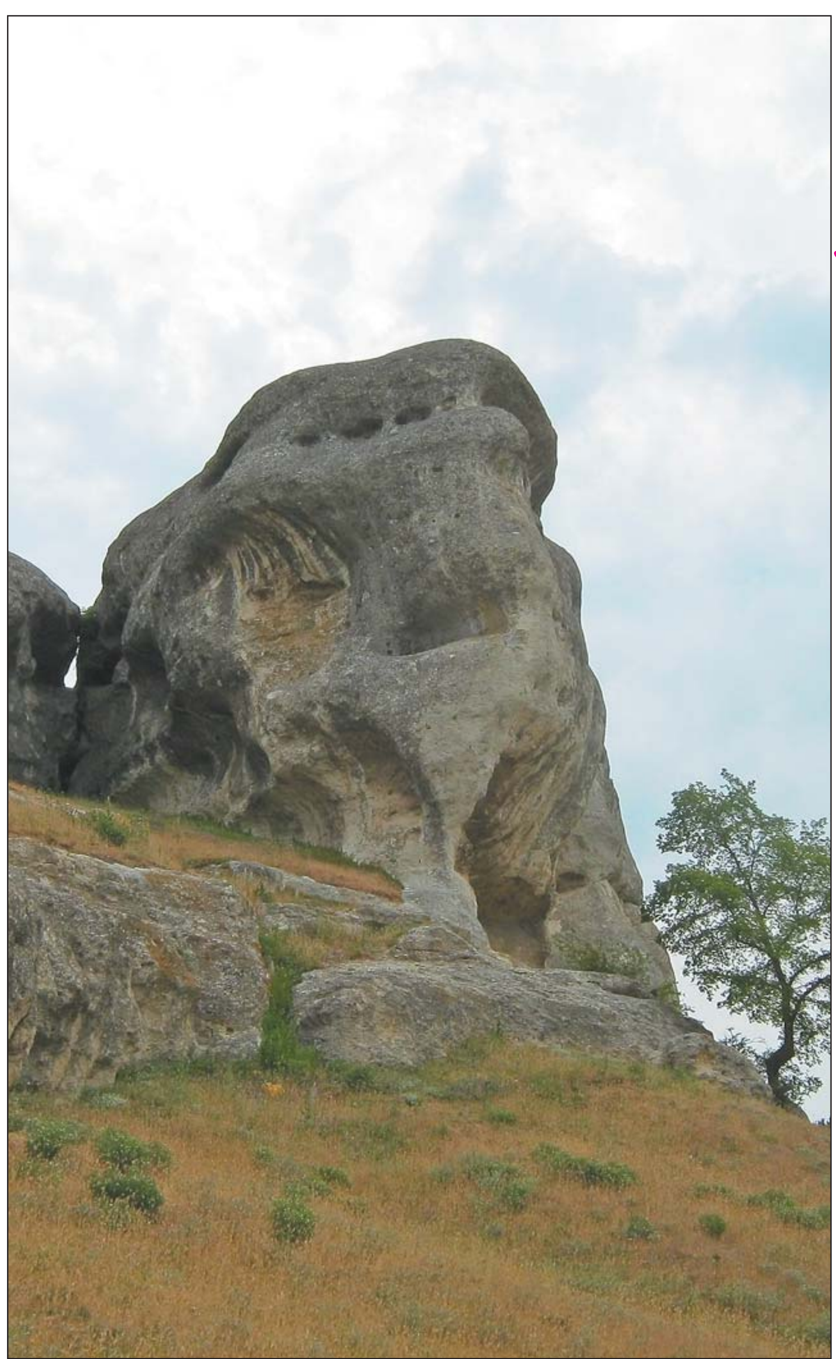
Каменные сфинксы Бахчисарая

В.Н.Комаров,
кандидат геолого-минералогических наук
Российский государственный геологоразведочный университет им.С.Орджоникидзе
Москва

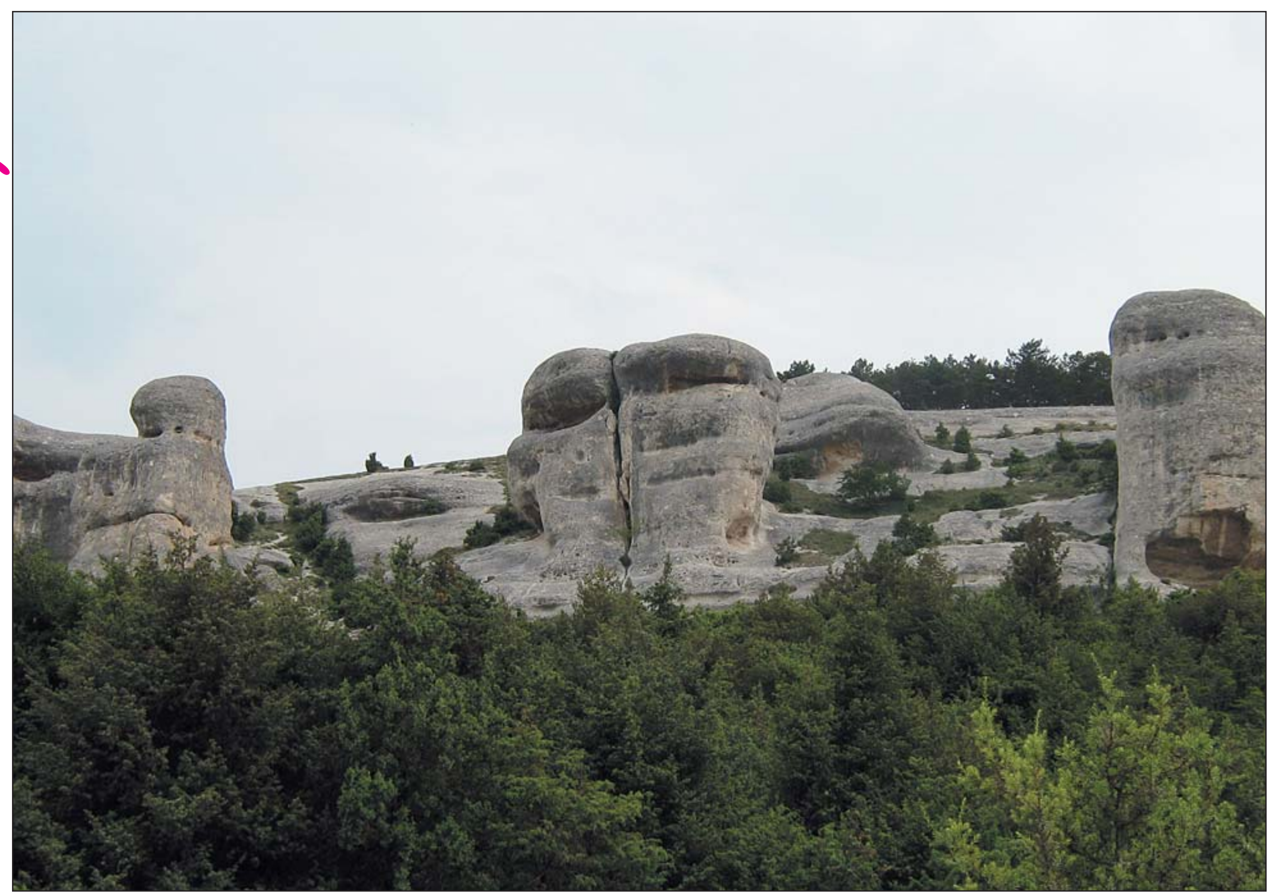
Горный Крым — уникальный комплексный геологический заповедник. Он исключительно благоприятен, в том числе и для изучения процессов, связанных с активным воздействием на горные породы различных агентов атмосферы. Один из интереснейших результатов совместной работы выветривания и ветра — оригинальные каменные сфинксы.

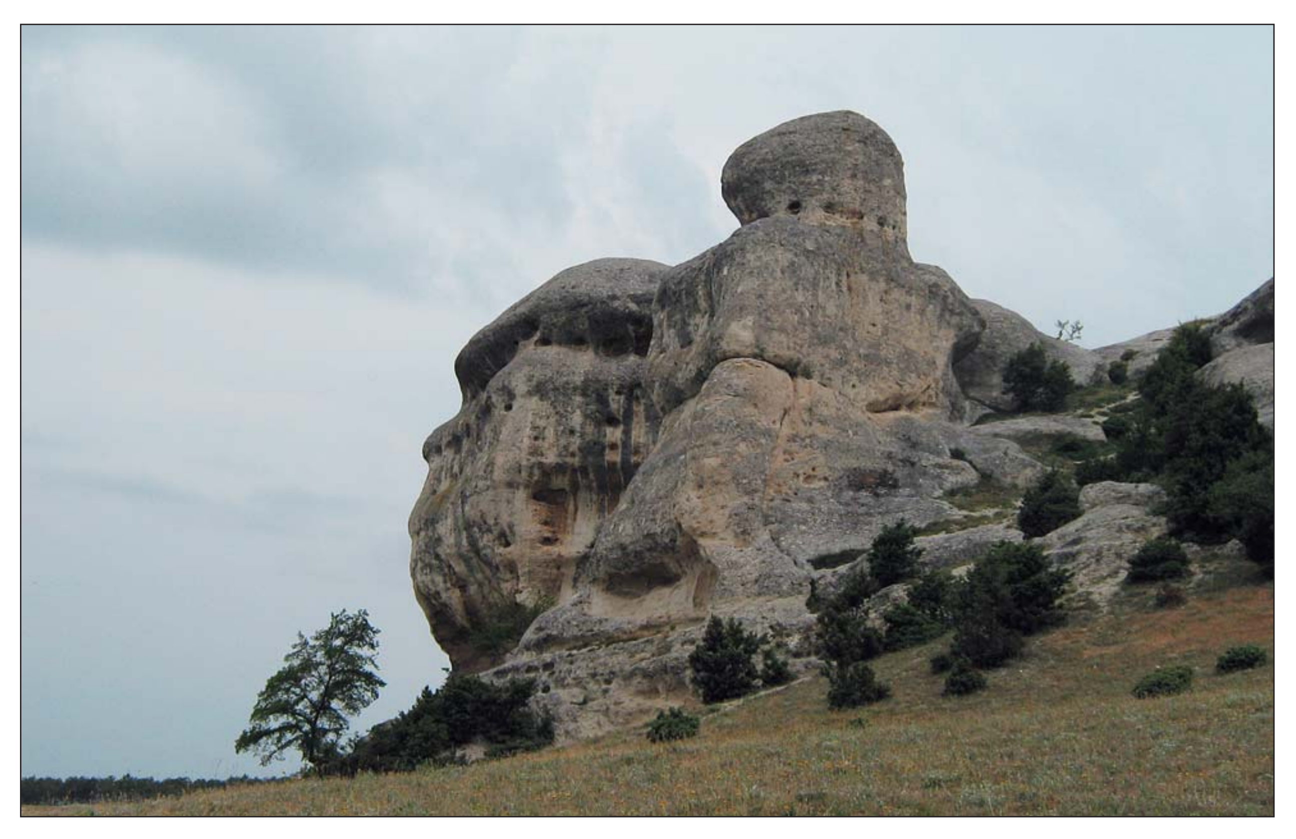
Их замечательным примером служит ландшафтный памятник, расположенный около Бахчисарая. Сфинксы, созданные искусной рукой природы, высятся на правом берегу р.Чурук-Су, сформировавшей глубокое каньонообразное ущелье, которое рассекает Внутреннюю гряду Крымских гор в поперечном направлении. Скульптурная группа состоит из колоссов высотой более 20 м. В их необычных формах воображение может обнаружить притаившихся грозных великанов, живописных фантастических идолов, застывшие фигуры заколдованных животных, внушительных размеров грибы, вздымающиеся ввысь колонны, исполинские башни и бастионы разрушенных крепостей. Во многих случаях каменные изваяния еще полностью не «оформлены». Словно в мастерской скульптора, они прошли лишь черновую, предварительную обработку. Если смотреть на них с разных сторон и при различном освещении, то очертания каменных истуканов меняются, что придает им еще большую загадочность.

Все эти замечательные образования возникли в результате

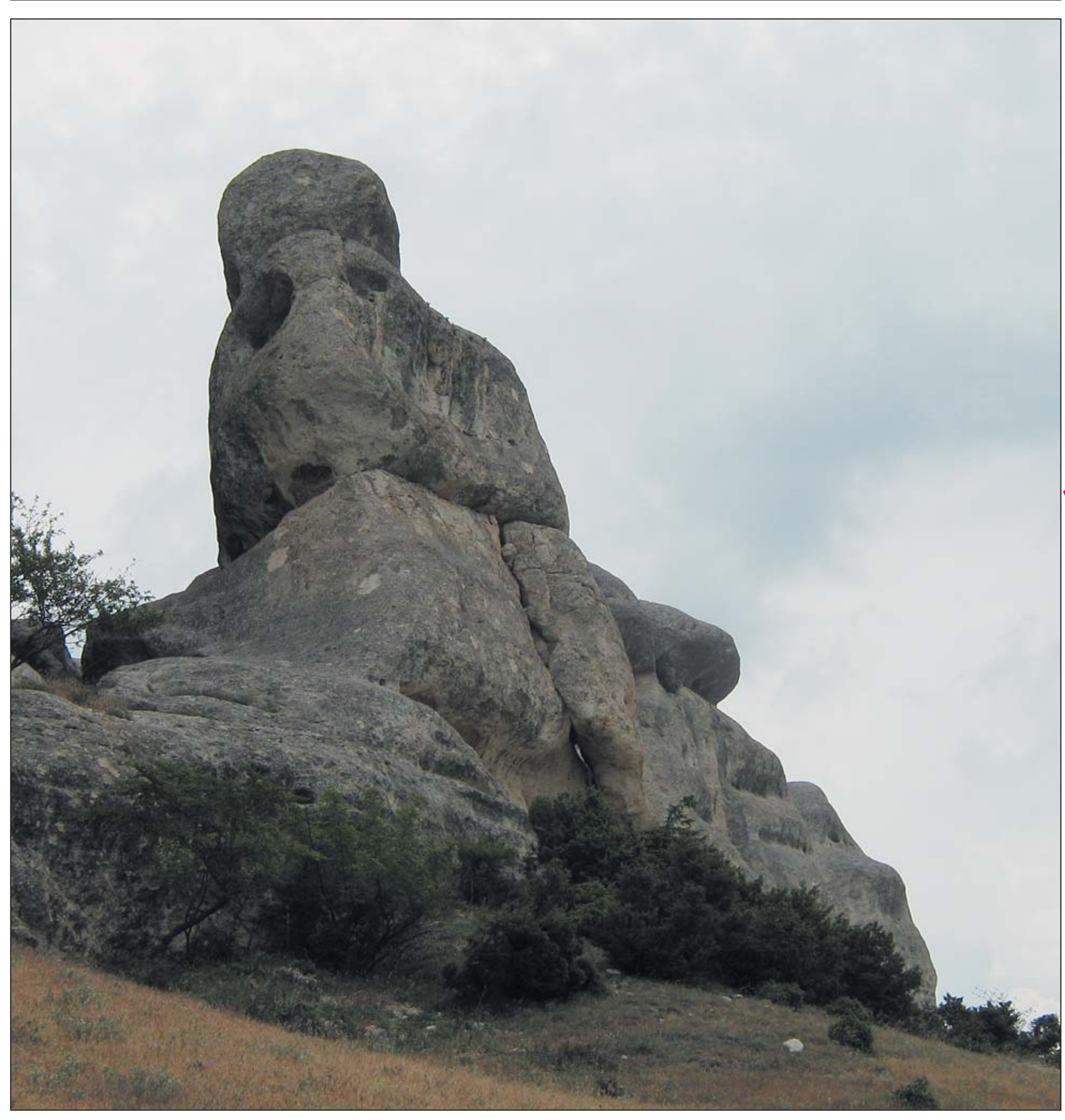


Каменный сфинкс — результат совместной работы выветривания и ветра. Здесь и далее фото автора





Бастионы разрушенных крепостей, созданные Природой.



Каменный истукан Бахчисарая.

выветривания неоднородных, разных по прочности нуммулитовых (состоящих из небольших монетовидных раковин простейших организмов — нуммулитов) известняков палеогенового возраста (около 50 млн лет). До поры до времени отложения, развитые в этом районе, оставались в целом монолитными. Позднее густая сеть многочисленных трещин разделила их на потенциальные блоки. Дождевая и талая вода проникала в трещины, ослабляла между ними связь, массивы пород распадались на части. На участках скалистого рельефа происходили масштабные горные обвалы, решающим толчком к возникновению которых могли служить землетрясения. Отдельные блоки обрушивались, разрушались и постепенно бесследно исчезали. Оставшиеся скалы на протяжении непостижимо огромного времени меняли свои очертания и сглаживались. В результате неумолимого воздействия ветра и воды, смены тепла и холода, разрушительной деятельности проникающих в трещины растений сформировались причудливые каменные изваяния — прекрасная иллюстрация современных геологических процессов.■

Живопись как источник антропологической информации

И.В.Перевозчиков,
доктор биологических наук
К.Э.Локк
Научно-исследовательский институт и Музей антропологии Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова

В антропологии одним из наиболее важных источников информации служат описательные и измерительные морфологические признаки. В расоведении и этнической антропологии к ним относят также особенности пигментации (цвет глаз, кожи и волос), волосяного покрова (лица и тела) и некоторые другие. Такого рода признаки могут определяться по специальным фотографиям. Фотопортреты существуют только последние 150 лет, все остальное время для передачи лица живого человека служили различные виды изобразительного искусства. Важность этой информации для антропологии давно оценена. Почти во всех расоведческих монографиях приводятся художественные изображения лица как один из источников для реконструкции антропологического состава населения того или иного региона.

Реалистичные портреты, максимально похожие на персону, должны были сохранить мысленный контакт с ней, если непосредственный стал невозможен. Наш опыт работы с портретом XVIII—XIX вв. показал, что, стремясь достичь максимального сходства, живописцы очень точно передавали мельчайшие подробности, такие, например, как складка верхнего века, небольшая асимметрия, бородавки, косоглазие и др. Не исключено, что художник мог корректировать недостатки внешности, но вряд ли искажал основные антропологические признаки, ведь главное требование состояло в достижении сходства.

Информация, заложенная в живописных портретах, уникальна и не может быть получена никакими другими способами. Цветная фотография существует не более полувека, в то время как история живописного портрета насчитывает многие сотни лет. Конечно, работа с живописными портретами как источником антропологической информации содержит в себе некоторые трудности. Прежде всего, не стоит забывать, что мы видим плоское изображение, которое нельзя «развернуть»; что между исследователем и объектом исследования существует посредник — художник; что старые живописные работы темнеют и немного желтеют со временем, и по этой причине также может происходить частичное искажение данных.

Методика работы с портретами

Наше исследование имеет популяционный характер, т.е. мы рассматриваем отдельный портрет как индивида, а совокупность портретов — как выборку из популяции. Ранее попытки работы с живописными портретами носили чисто типологический характер, не учитывалась индивидуальная изменчивость, т.е. одно изображение или небольшое их количество принимались за антропологическую характеристику народа.

Мы брали портреты людей, написанные в реалистической манере. Относительно портретируемой личности зачастую была известна и нами записывалась следующая информация: фамилия, имя и отчество, пол, возраст, социальное положение, профессия и национальность. Указывались автор картины, годы его жизни, дата создания портрета, техника исполнения (отмечалось, является ли предмет изучения подлинником или репродукцией). В примечании фиксировались искажающие факторы (парик, грим или др.) и любая дополнительная информация.

Поскольку в то время редко встречались удачные изображения детей, мы решили исключить их из выборки. Портреты пожилых людей с явными старческими изменениями в пропорциях лица также не рассматривались.

После предварительного просмотра портретов мы отобрали 26 стандартных балловых признаков (цвет и форма волос, цвет глаз, ширина



Рис.1. Примеры балловых оценок цвета глаз: балл 3 — темные (*а*), балл 2 — смешанные (*б*), балл 1 — светлые (*в*).

глазной щели, развитие складки верхнего века, профиль спинки носа и др.). Эти признаки относительно легко определяются и мало зависят от особенностей художественного стиля живописца. Основная проблема заключалась в том, что головы на портретах не выдержаны в строгих антропологических нормах и имеют разную степень поворота или наклона.

В антропологии отличают три основных положения головы: фронтальное, профильное и так называемое «три четверти». Мы выделили также норму «пять шестых», когда голова на портрете имеет легкий разворот в ту или другую сторону. Большинство портретов нарисовано с различной степенью поворота головы — от 5/6 до 3/4, фронтальная и профильная нормы использовались редко.

Для оценки признаков применялась стандартная методика [1] с определенными допущениями, о которых мы еще расскажем ниже. По принятой в отечественной антропологии методике большинство описательных признаков имеет трехчленную градацию, где балл 1 обозначает слабое развитие признака, балл 2 — среднее, а балл 3 — сильное. В случае четырех- и пятичленной градации тенденции сохраняются те же. Например, для признака «цвет глаз» разделение будет выглядеть следующим образом (рис.1): балл 1 — светлые (слабопигментированные) глаза, балл 2 — смешанные (промежуточные по пигментации), балл 3 — темные.

Вариации некоторых признаков и примеры их оценки приведены на рис.2, 3.

Такие признаки, как наклон лба, развитие надбровья, выступание подбородка, профиль спинки носа и некоторые другие наиболее точно определяются на профильных портретах, однако с учетом малочисленности таких картин эти признаки определялись и при положении головы в 3/4 в тех случаях, когда сомнений в правильности определения у нас не было.

В процессе работы пришлось разделить признаки стандартной описательной антропологической программы на три категории: в первую во-



Рис.2. Выступание скуловой дуги — балл 1, рост бровей — 3, складка века: внутренний угол глаза — балл 2, наружный угол — 3, наклон глазной щели — горизонтальный (*а*); выступание скуловой дуги — 2, рост бровей — 1, складка века по всему протяжению — балл 1 (*б*); выступание скуловой дуги — 3, складка века по всему протяжению — балл 3, наклон глазной щели — наружный угол выше внутреннего (*в*).

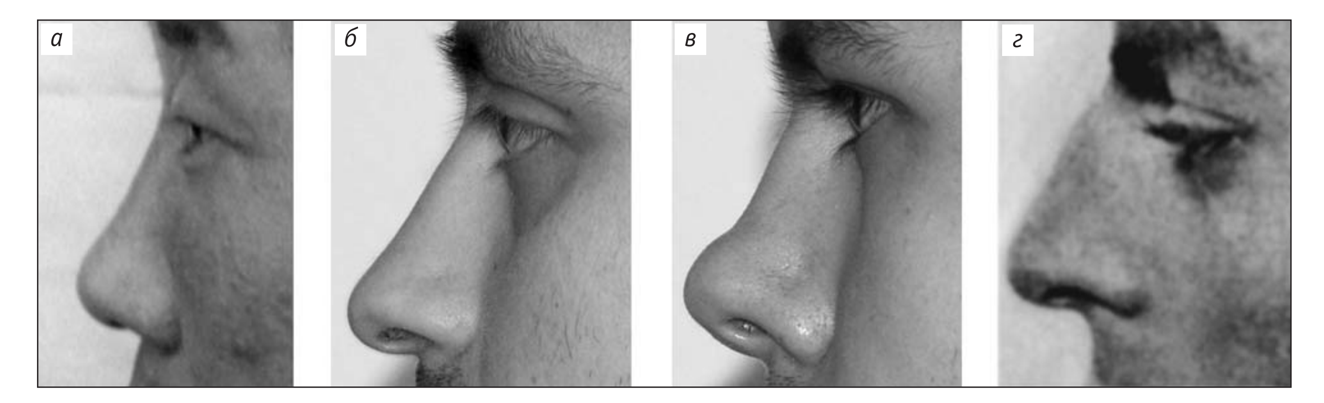


Рис.3. *а* — высота переносья — балл 1, профиль спинки носа — прямой, ширина раскрытия глазной щели — 1, кончик носа — приподнятый; *б* — высота переносья — нижняя граница балла 2, профиль спинки носа — прямой, ширина раскрытия глазной щели — 2, кончик носа — горизонтальный; *в* — высота переносья — верхняя граница балла 2, профиль спинки носа — вогнутый, ширина раскрытия глазной щели — 2, кончик носа — приподнятый; *г* — высота переносья — балл 3, профиль спинки носа — выпуклый.

шли признаки, которые надежно определялись независимо от положения головы. Во вторую — те, которые можно было определить только на части портретов (борода, цвет и форма роста волос и некоторые другие). В третью — те, которые выявлялись недостаточно надежно из-за положения головы [2].

В связи с неизбежными трудностями мы решили дополнить групповую характеристику индивидуумов с помощью метода обобщенного фотопортрета.

Кратко про обобщенный портрет

Метод обобщенного портрета был предложен в 1878 г. английским ученым Френсисом Гальтоном (1822—1911). В связи с работами по теории наследственности он задался вопросом: «Каков был бы надежный метод при наличии рисунков или фотографий нескольких достаточно схожих людей, но имеющих различия в строении деталей для извлечения их типических характеристик? План такого исследования... состоял в идее оптического сопоставления путем наложения отдельных рисунков для получения суммированного результата» [3]. В 1878 г. в журнале «Nature» была опубликована статья Гальтона «Составные портреты» (Galton F. Composite portraits // Nature. 1878. V.23).

Наиболее распространенный до настоящего времени вариант метода состоит из таких этапов: а) получение одинаковых по освещенности и пространственной ориентации и оптимальных по градационным характеристикам негативных изображений; б) совмещение негативных изображений в процессе фотографической печати на одном листе бумаги с использованием реперных точек, линий и размеров, при этом каждое негативное изображение экспонируется с выдержкой в n раз меньше оптимальной (где n — численность выборки); в) полученное изображение может быть использовано при описании изучаемой группы, при сравнении с другой группой как один из методов определения степени сходства и для суждения о внутригрупповой изменчивости признаков лица.

Гальтон, как отмечает И.И.Канаев, указал на перспективность и возможные области применения данного метода:

«а) получение составного портрета “истинного” изображения одного и того же человека, снятого в разное время (с интервалом до нескольких лет). Он полагал, что таким образом изображение человека будет избавлено от “моментальности” каждой отдельной фотографии и суть данного человека будет отражена полнее, что приблизит изображение к художественному портрету, созданному мастером;

б) создание семейных составных портретов для изучения наследования черт фамильного сходства. При этом можно было суммировать не только братьев и сестер, но и их кузенов, а в родительском поколении суммировать не только непосредственных родителей, но и дядей, теток, бабушек и дедушек (по мнению Гальтона, “четкость” составного портрета обусловлена тем, что сходства в лицах всегда больше, чем различий, напротив, индивидуальные черты, которые всегда больше привлекают наше внимание в силу склонности к анализу, размываются и исчезают в составном портрете);

в) создание составного портрета из большого числа случайно выбранных лиц одной группы (расовой, национальной, территориальной, профессиональной) для выявления “типа” данной группы — зримого комплекса черт сходства.

г) Ф.Гальтон также полагал, что можно будет более точно восстановить индивидуальные черты лица какой-либо исторической личности по

обобщенному изображению портретов, написанных разными художниками» [3].

Гальтон создал составные портреты по нескольким монетам Александра Македонского, Клеопатры, Нерона, Наполеона I и других лиц, делал составные портреты целых семейств, несколько этнических составных портретов, а также портреты типичного преступника, больного чахоткой и т.д. [3]. К сожалению, эти работы не получили в то время широкого признания.

По многим причинам описанный метод был незаслуженно забыт, до последней трети XX в. применялся крайне редко и с чисто иллюстративной целью.

Начиная с 1970-х годов в отечественной антропологии возобновился интерес к методу обобщенного портрета. Сотрудники НИИ и Музея антропологии И.В.Перевозчиков, О.М.Павловский и А.М.Маурер создали обобщенные фотопортреты многих этнических групп с территории северной Евразии. К настоящему времени накоплено около 100 подобных фотопортретов.

В 2008 г. при сотрудничестве с программистом М.Н.Тихомировым был разработан оригинальный способ создания цветных обобщенных портретов с помощью цифровых методик. Этот способ отличается от всех остальных компьютерных способов создания суммарных портретов тем, что по логике суммирования и по результату соответствует классическому фотографическому методу, предложенному Гальтоном. Это экспериментально подтверждено полным сходством портретов, созданных обоими методами по одним и тем же выборкам.

Чаще всего предполагается, что в обобщенном портрете мы видим отображение среднего лица выборки с учетом внутригрупповой (индивидуальной) изменчивости. Иными словами, этот метод служит своего рода аналогом многомерного анализа, при котором плотность и четкость деталей связана с морфологической изменчивостью внутри выборки, а получение заметного раздвоения контура будет говорить о присутствии двух морфологических вариантов в данной выборке.

Нужно отметить, что при численности выборки порядка 40 и более человек восприятие образа, создаваемого обобщенным портретом, перестает существенно изменяться, т.е. обобщенные портреты 40 и 60 человек, принадлежащих одной популяции, для нас окажутся практически неразличимыми. Можно сказать, что при численности в 40 человек и более обобщенный портрет обладает некоей устойчивостью образа.

Особенность анализа обобщенных фотопортретов заключается в том, что исследователь и читатель находятся в равном положении и читатель волен сделать свои собственные, отличные от исследователя, выводы, увидеть свои образы и иллюзии [4. С.35—44].

Результаты

Первый опыт популяционного описания живописных портретов был сделан в работе И.В.Перевозчикова и Д.С.Давыдовой [5. С.101—102]. В этой работе на основе изучения около 200 портретов — преимущественно русских, голландцев и итальянцев XVII—XIX вв. — было показано, что с некоторыми ограничениями живописные портреты могут служить источником вполне объективной антропологической информации. Но в тот момент мы еще не обладали методом создания цветных обобщенных портретов, что существенно уменьшало количество полученной информации.

В настоящее же время для характеристики выборки мы располагаем двумя базами данных: одна из них — числовая матрица балловых характеристик, а другая — индивидуальные изображения. Соответственно, к суммарной оценке выборки мы можем прийти двумя разными путями. Первый путь — расчет средней арифметической величины по каждому из признаков и получение таблицы средних величин. Второй — получение обобщенного изображения.

Итак, нами было описано 572 репродукции живописных портретов населения России за период с 1730-х по 1850-е годы. Исключая повторы, в генеральную совокупность вошли 297 женских и 275 мужских портретов.

В зависимости от принадлежности людей к разным социальным классам наша выборка была разбита на пять категорий (табл.1): столичные аристократы (самые высшие слои общества), уездные дворяне (помещики), купцы, крестьяне и неизвестные (скорее всего, в большинстве своем уездные дворяне). Данное разделение несколько условно и, возможно, в дальнейшем будет корректироваться.

Таблицы 2 и 3 представляют собой сравнение средних величин между социальными классами, отдельно для мужчин и для женщин. Крестьяне и купцы были объединены в один класс ввиду ма-

Таблица 1

Разбиение портретов на категории

Социальные классы	Количество человек	
	Мужчины	Женщины
столичные аристократы (самые высшие слои общества)	125	108
уездные дворяне (помещики)	61	55
купцы	64	53
крестьяне	12	7
неизвестные (в большинстве уездные дворяне)	35	52
Всего	297	275

Таблица 2

Сравнение средних величин по баллам между социальными классами. Мужская выборка

Признак	Купцы и крестьяне, N = 33	Уездные дворяне и неизвестные, N = 96	Столичные аристократы, N = 125
цвет волос	4.12 (темно-русый)	4.17 (темно-русый)	4.09 (темно-русый)
форма волос	2.23 (плосковолнистые)	2.67 (ближе к волнистым)	2.65 (ближе к волнистым)
рост бровей	1.92 (средний)	1.73 (средний)	1.82 (средний)
цвет глаз	2.13 (смешанный)	2.13 (смешанный)	2.20 (смешанный)
ширина глазной щели	1.67 (средне-малая)	1.96 (средняя)	1.95 (средняя)
складка верхнего века	1.69 (ближе к средней)	1.48 (средне-слабая)	1.10 (слабая)
выступание скул	1.39 (слабое с тенденцией к среднему)	1.21 (слабое)	1.26 (слабое)
общий профиль носа	2.09 (прямой)	2.37 (прямой с тенденцией к выпуклому)	2.34 (прямой с тенденцией к выпуклому)
выступание крыльев носа	2.16 (среднее)	1.58 (средне-слабое)	1.53 (средне-слабое)
толщина верхней губы	1.24 (тонкая)	1.20 (тонкая)	1.30 (тонкая)
толщина нижней губы	1.61 (средне-тонкая)	1.71 (средняя с тенденцией к тонкой)	2.02 (средняя)
полнота лица	1.76 (средняя с тенденцией к худощавости)	2.24 (средняя с тенденцией к полноте)	2.33 (средняя с тенденцией к полноте)

Таблица 3

Сравнение средних величин по баллам между социальными классами. Женская выборка

Признак	Купчихи и крестьянки, N = 31	Уездные дворянки и неизвестные, N = 107	Столичные аристократки, N = 108
цвет волос	4.24 (темно-русый)	4.00 (темно-русый)	4.03 (темно-русый)
форма волос	1.31 (прямые)	2.06 (плосковолнистые)	2.18 (плосковолнистые)
рост бровей	1.25 (слабый)	1.25 (слабый)	1.42 (средне-слабый)
цвет глаз	2.08 (смешанный)	2.00 (смешанный)	2.11 (смешанный)
ширина глазной щели	2.02 (средняя)	2.10 (средняя)	2.11 (средняя)
складка верхнего века	1.44 (средне-слабая)	1.30 (слабая с тенденцией к средней)	0.96 (слабая)
выступание скул	1.48 (средне-слабое)	1.25 (слабое)	1.16 (слабое)
общий профиль носа	1.78 (прямой с тенденцией к вогнутому)	1.90 (прямой)	1.99 (прямой)
выступание крыльев носа	2.07 (среднее)	1.59 (средне-слабое)	1.71 (среднее с тенденцией к слабому)
толщина верхней губы	1.20 (тонкая)	1.20 (тонкая)	1.21 (тонкая)
толщина нижней губы	1.72 (средняя с тенденцией к тонкой)	1.78 (средняя с тенденцией к тонкой)	1.80 (средняя с тенденцией к тонкой)
полнота лица	2.35 (средняя с тенденцией к полноте)	2.09 (средняя)	2.09 (средняя)

лочисленности крестьянских портретов и того обстоятельства, что большинство купцов вело свое происхождение от крестьян. Классы «неизвестных» и «уездных дворян» также были слиты воедино для увеличения численности.

Из таблиц видно, что различия в антропологическом типе между сословиями незначительны. Можно лишь отметить, что у купцов-крестьян в среднем меньше ширина глазной щели и более низкие орбиты. И у женщин, и у мужчин в ряду от купечества к столичной аристократии уменьшается набухание верхнего века. У купцов несколько более выступающие крылья носа, более тонкие губы, более худощавые (но «крепкие») лица, чем у столичных аристократов. У купчих, напротив, лица более полные. Также купчихи более скуластые, чем дворянки, среди мужчин тенденция такая же, но слабая. Более волнистые волосы дворян могут быть следствием моды на завивку.

Необходимо отметить, что мы не проводили проверок на статистическую достоверность указанных различий, так как недавно поступивший материал по купеческим портретам еще не получил описательной характеристики, но в состав обобщенного портрета уже вошел. Таким образом, анализ обобщенных изображений несколько опережает статистический анализ. Но, несмотря на это, сильных расхождений при сравнении ста-

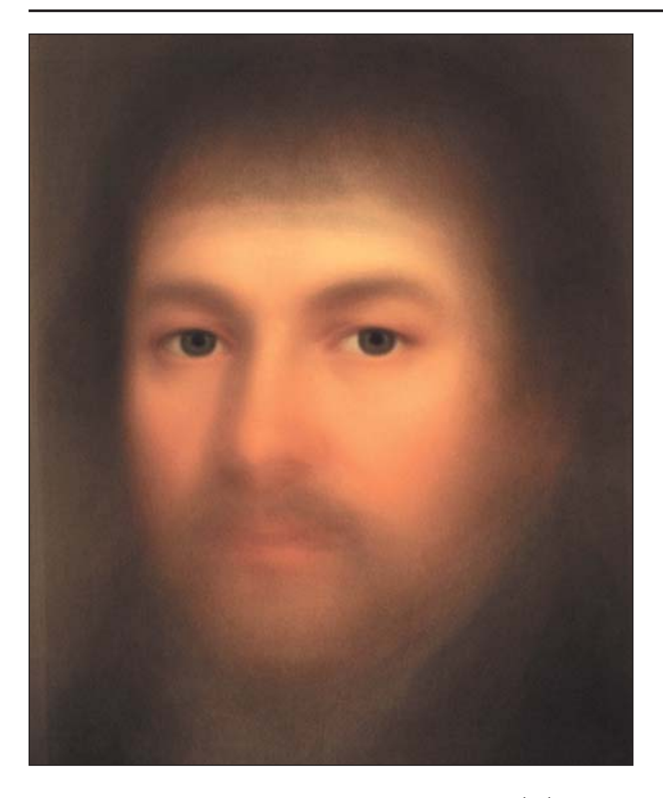


Рис.4. Купец конца XVIII — начала XIX в. Обобщенный портрет из 70 человек.



Рис.5. Уездный дворянин XVIII — начала XIX в. Обобщенный портрет из 48 человек.

тистических данных с обобщенными изображениями не возникает.

Обобщенные портреты мужчин и женщин рассмотренных социальных групп представлены на рис.4—9.

Результат сравнения обобщенных изображений был несколько неожиданным. При общем сходстве в частотах описанных признаков (табл.2) обобщенные портреты столичных и уездных дворян (рис.5, 6) вполне различимы — как легко заметит читатель, речь идет о несколько иных пропорциях лица. Следует обратить внимание на строение глазной области, а также на соотношение широтных и высотных размеров лица. Обобщенный портрет уездных дворян обладает более низкими глазницами и более широким лицом по сравнению с портретом столичного аристократа. В целом портрет уездного дворянина по строению лица несколько тяготеет к купеческому портрету.

Портреты женщин (рис.8, 9) отличаются не так сильно, но по строению глазной области (речь идет о высоте и форме орбиты) уездные дворянки более сходны с купчихами.

Таким образом, мы видим, что визуальный анализ обобщенных изображений дает нам более полную информацию о сходствах и различиях, существующих между сословными группами, так как в этом случае мы имеем возможность одновременно анализировать весь комплекс лицевых признаков.



Рис.6. Столичный аристократ XVIII — начала XIX в. Обобщенный портрет из 65 человек.



Рис.7. Купчиха конца XVIII — начала XIX в. Обобщенный портрет из 60 человек.



Рис.8. Уездная дворянка XVIII — начала XIX в. Обобщенный портрет из 47 человек.



Рис.9. Столичная аристократка XVIII — начала XIX в. Обобщенный портрет из 68 человек.

Наши данные были сопоставлены с данными Русской антропологической экспедиции (табл.4) [6]. По результатам данных (табл.4), антропологический тип русского дворянства XVIII — начала XIX в. определяется как вариант среднеевропейского антропологического типа и его отличия от среднеевропейского варианта русского сельского населения середины XX в. заключаются в более темной пигментации глаз и волос, большем развитии складки верхнего века и меньшем выступании скул. Более сильное развитие складки верхнего века в данном случае связано с различиями в методике определения этого признака на портретах и на живых людях. На портретах взгляд чаще всего направлен в сторону зрителя, тогда как для объективной оценки развития складки взгляд должен быть направлен немного вниз. Возможно, более темная пигментация глаз и волос могла стать следствием потемнения красок масляных полотен. Косвенно это подтверждается изученными нами акварельными портретами, на которых цвет определяется лучше. Тем не менее тенденция к более темным оттенкам сохранилась, хотя частота темных глаз уменьшилась. Что касается признака «выступание скул», то мы можем утверждать, что русская аристократия действительно обладала слабо выступающими скулами, что особенно хорошо видно на обобщенном портрете (рис.5, 6, 8, 9).

Принадлежность нашей общей выборки к среднеевропейскому антропологическому типу —

Таблица 4
Сравнение средних по баллам величин

Признак	По живописным портретам, дворянство XVIII – начала XIX в.		Русская экспедиция, 1950-е годы	
	Мужчины	Женщины	Мужчины	Женщины
цвет волос	4.15 (темно-русые)	4.06 (темно-русые)	3.40—3.96 (от средне до темно-русых)	
рост бровей	1.81 (средний)	1.28 (слабый)	1.75—2.25 (средний)	1.33—2.25 (от слабого до среднего)
цвет глаз	2.16 (смешанный)	2.07 (смешанный)	1.55 (преобладание светлых оттенков)	1.6 (преобладание светлых оттенков)
складка верхнего века	1.46 (средне-слабая)	1.22 (ближе к слабой)	0.71 (слабая)	0.79 (слабая)
выступание скул	1.25 (слабое)	1.30 (слабое)	1.84 (среднее)	1.96 (среднее)
общий профиль носа	2.34 (прямой с тенденцией к выпуклому)	1.94 (прямой)	2.11 (прямой)	1.8 (прямой)
кончик носа	2.08 (прямой)	1.96 (прямой)	1.83 (прямой)	1.74 (прямой с тенденцией к приподнятому)
высота верхней губы	1.89 (средняя)	1.85 (средняя)	2.00 (средняя)	
профиль верхней губы	1.70 (прямой с тенденцией к выступанию)	1.78 (прямой с тенденцией к выступанию)	2.03 (прямой)	1.98 (прямой)
толщина верхней губы	1.24 (тонкая)	1.20 (тонкая)	1.38 (тонкая)	1.38 (тонкая)
толщина нижней губы	1.80 (средняя)	1.77 (средняя)	2.07 (средняя)	1.96 (средняя)

вполне ожидаемый результат, так как речь идет о сравнительно небольшой древности. Данный вариант представляет собой нечто среднее между северными и южными европеоидами. Более того, существует вполне обоснованное предположение о его смешанном происхождении между северными и южными популяциями. Территория обитания народов, классифицируемых как среднеевропейцы, простирается от Атлантики до Урала. Естественно, на такой территории существуют различные варианты, что во многом связано с историей их становления и контактами с другими антропологическими вариантами. Судя по нашему исследованию, главной особенностью восточноевропейского населения XVIII — начала XIX в. была несколько более темная пигментация глаз (если это не методический артефакт). Но в силу обстоятельств наша выборка отражает только два сословия — дворяне и купцы. Не исключено, что крестьянское сословие (а в результатах Русской антропологической экспедиции 1956—1959 гг. представлено сельское население) и в XVIII—XIX вв. было более светло пигментировано и более скуласто, т.е. приближалось к современному финскому типу.■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 06-06-80303.

Литература

1. *Бунак В.В.* Антропометрия. М., 1941.
2. *Перевозчиков И.В., Локк К.Э., Сухова А.В., Маурер А.М.* Опыт антропологического описания населения России по произведениям портретной живописи середины XVIII — начала XIX в. // Актуальные вопросы антропологии. Вып.3. Минск, 2008.
3. *Канаев И.И.* Френсис Гальтон. М., 1972.
4. *Перевозчиков И.В., Маурер А.М.* Обобщенный фотопортрет: история, методы, результаты // Вестник Московского университета. Сер.XXIII. №1. М., 2009.
5. *Перевозчиков И.В., Давыдова Д.С.* Опыт антропологического описания населения Европы XVI—XIX вв. по произведениям портретной живописи // Некоторые актуальные проблемы современной антропологии. Музей антропологии и этнографии им.Петра Великого (Кунсткамера) РАН. СПб., 2006.
6. Происхождение и этническая история русского народа // Тр. Ин-та этнографии АН СССР. Нов. сер. М., 1965. Т.88.

ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 2010 ГОДА

По физике — А.К.Гейм и К.С.Новоселов

Нобелевскими лауреатами по физике в 2010 г. стали воспитанники российской научной школы Андрей Гейм и Константин Новоселов. Формулировка Нобелевского комитета: «за новаторские эксперименты по исследованию двумерного материала графена». Денежная составляющая премии в этом году — 10 миллионов шведских крон. Интересно сравнить свежеиспеченных лауреатов между собой. Автор хотел бы, не претендуя на объективность, высказать свою точку зрения, основанную на литературных данных, ряде опубликованных в Интернете интервью и весьма кратком и фрагментарном опыте личного общения.

Оба они талантливы, оба честолюбивы и целеустремленны, оба фантастически работоспособны, оба, приехав в Москву «из глубинки», получили «лучшее в мире образование» (из их интервью) и сумели его не растранжирить, оба стали профессионалами и сделали свои первые научные шаги в одном и том же подмосковном городке, хотя и в разное время. Оба получили целый ряд престижных научных премий и наград, но по-прежнему вкалывают до изнеможения. С другой стороны, «пай-мальчиками» оба никогда не были. Оба личности, но совершенно разные личности.

Старший: яркий, компетентный, предельно трезвый, суперактивный, «вместо сердца пламенный мотор», взрывной, насмешливый и не всегда политкорректный Гейм. Младший: «рукастый», глубокий, негромкий, упорный, сдержанный (или научившийся быть таковым), знающий себе цену (первый автор в ключевых совместных публикациях) Новоселов. Отношения между ними по типу учитель-ученик, похоже, давно в прошлом. Оба «пахари» и оба лидеры. Удивительно, как могут уживаться и так плодотворно взаимодействовать уже более 10 лет две такие крупные личности. Возможно, разгадка в том, что оба, как принято говорить в таких случаях, «фанатично преданы науке», т.е. ценят большую науку больше больших денег. Более того, похоже, только в таком составе можно было за столь короткое время совершить сразу три подвига: во-первых, сделать большое открытие, во-вторых, отстоять в жесткой конкурентной борьбе свой приоритет и, в-третьих, завоевать симпатии Нобелевского комитета. Подвиг четвертый — сохранить себя в грохоте медных труб — им еще предстоит.

Андрей Константинович Гейм родился в Сочи в 1958 г., среднюю школу закончил в Нальчике. После окончания в 1982 г. факультета общей и прикладной физики Московского физико-технического института (МФТИ) стал работать в Черноголовке (Московская обл.), сначала в Институте физики твердого тела АН СССР (ныне ИФТТ РАН), а затем в Институте проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов АН СССР (ныне ИПТМ РАН). Занимался экспериментальной физикой металлов, по этой же тематике защитил кандидатскую диссертацию в 1987 г. В 90-х годах уехал в Западную Европу, работал на научно-преподавательских должностях в университетах ряда европейских стран.

Этапной для Гейма стала работа в Университете г.Наймегена (Нидерланды), в лаборатории сильных магнитных полей, руководит которой профессор Ян Кес Маан. Там будущий лауреат активно исследовал магнитные свойства металлов, сверхпроводников и полупроводников. Но широкую известность (и не только в научных кругах) ему принес эксперимент по диамагнитной левитации лягушек, описанный во вполне научной статье [1]. Короткий фильм, снятый Геймом и демонстрирующий парящую над магнитом и забавно дрыгающую ногами лягушку, в середине 90-х обошел телевизионные экраны всего мира. За эту деятельность ему и его соавтору сэру Майклу Берри (Великобритания) была в 2000 г. присуждена потешная Игнобелевская («шнобелевская») премия. Гейму хватило чувства юмора, чтобы ее принять, а затем опубликовать в научном журнале в соавторстве со своим хомяком Тишей статью об измерении вращения Земли с помощью диамагнитнолевитирующего гироскопа [2]. Кроме всего этого, работая в Наймегене, он заполучил голландское гражданство и самое главное — встретил Константина Новоселова, который станет его учеником, коллегой и разделит с ним Нобелевскую премию.

Константин Сергеевич Новоселов родился в Нижнем Тагиле в 1974 г., там же окончил среднюю школу и решил стать физиком. В знаменательном 1991 г.

поступил на факультет физической и квантовой электроники МФТИ; а после окончания Физтеха в 1997 г. — в аспирантуру ИПТМ РАН. К тому времени Гейм из страны уже уехал. В Черноголовке Новоселов под руководством Ю.В.Дубровского несколько лет проводил тонкие измерения электронных свойств низкоразмерных полупроводниковых структур при низких температурах. Денег не хватало, приходилось подрабатывать на стороне, но заниматься наукой еще было можно, хотя почти все одногруппники Новоселова ушли в бизнес и другие ненаучные сферы деятельности.

Ситуация резко изменилась с дефолтом 1998 г. Из науки решил не уходить, пришлось уезжать. Шеф Новоселова, Юрий Дубровский, с болью в сердце рекомендовал своего самого талантливого аспиранта Андрею Гейму, с которым они вели совместные исследования в рамках европейского гранта ИНТАС. Так в 1999 г. Новоселов оказался в Наймегене в группе Гейма. Кандидатскую степень (PhD) формально получил в Университете г.Наймегена в 2004 г. Но к этому времени он фактически работал в Манчестере, сменил тематику и уже сделал главное (к настоящему времени) открытие в своей жизни.

В 2001 г. Андрей Гейм получил по конкурсу позицию профессора в Университете г.Манчестера (Великобритания), куда и пригласил Костю Новоселова. Начались совместные поиски перспективной тематики. На каждом семинаре, руководимом Геймом, последние пять минут уделялись обсуждению всяких бредовых, на первый взгляд, идей. Как правило, попытки их реализации терпели неудачу. Но, чтобы выяснить это, требовались большие усилия. Работа по изготовлению новых образцов опиралась на технологические возможности лаборатории С.В.Дубоноса из ИПТМ РАН. В измерениях принимали участие и другие сотрудники ИПТМ,





Виновники торжества российской науки: 52-летний Андрей Гейм и 36-летний Константин Новоселов.

особенно существен был вклад С.В.Морозова, который возглавил лабораторию Дубровского после безвременной смерти последнего (2005). Наконец, через несколько лет одна из идей «выстрелила».

Идея была связана с использованием тонкого слоя графита для изготовления полевого транзистора. Задача была нетривиальной, ибо до тех пор никому не удавалось управлять проводимостью металла (или полуметалла, каковым является графит) с помощью электрического поля и создать на этой основе полевой транзистор. Было решено использовать слоистое строение графита и сделать упор на получении как можно более тонких слоев. Такие слои неожиданно легко получались примитивным прижиманием обычной липкой ленты к массивному куску графита с последующим отрыванием ленты. В одном из вариантов метода кусок ленты с прилепившимися графитовыми чешуйками приклеивался на поверхность окисленного кремния, после чего стравливался химическим образом. Полученную структуру, на поверхности которой прочно сидели чешуйки графита самой разной толщины (рис.1), можно

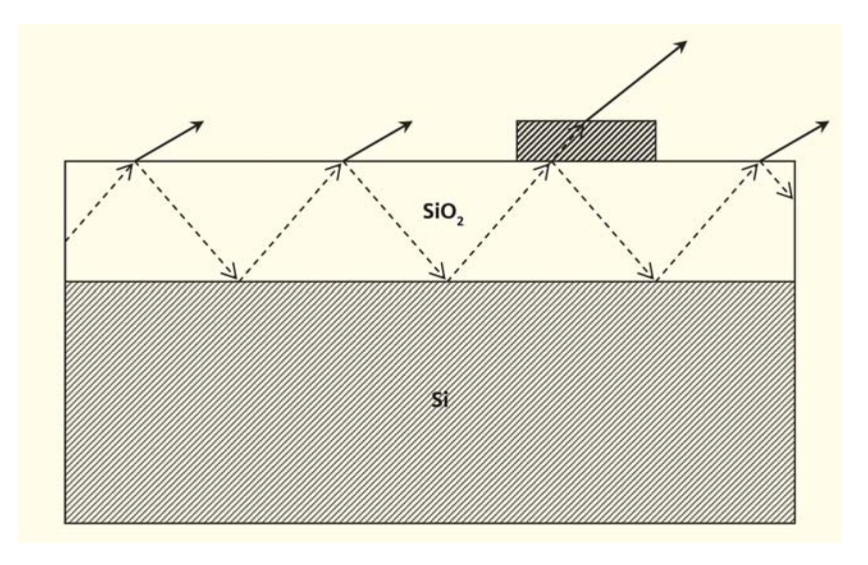
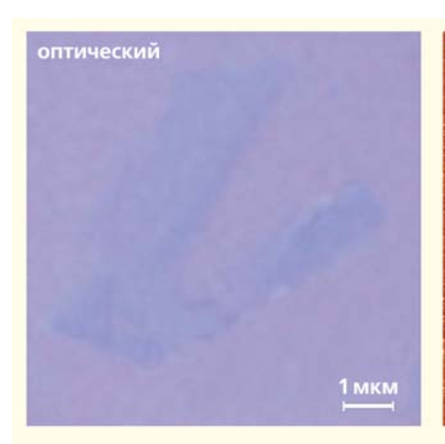
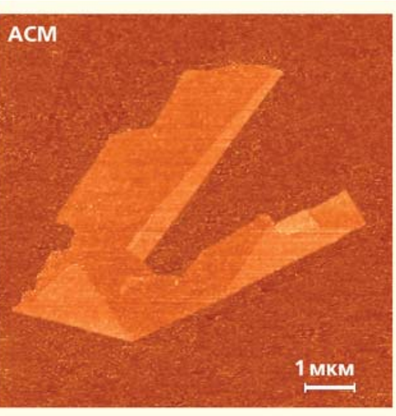


Рис.1. Распространение светового пучка в тонком слое двуокиси кремния, на котором находится чешуйка графита. Чешуйка изменяет коэффициент отражения света от границы окисел/воздух и создает фазовый контраст, который позволяет увидеть невооруженным глазом даже однослойный графит — графен.





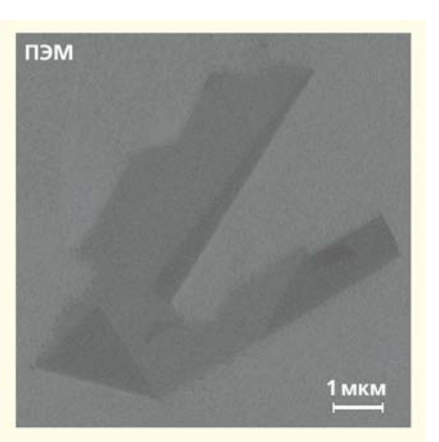


Рис.2. Графен оказался стабильным и его видно глазом! Первые изображения одной и той же чешуйки графена, полученной методом микромеханического расслоения, в оптическом, атомно-силовом (АСМ) и просвечивающем электронном (ПЭМ) микроскопах. Манчестер, 2004—2005.

было превратить в интерферометр Фабри—Перо для света видимого диапазона, если толщину световедущего слоя окисла выбрать сравнимой с половиной длины волны света (около 300 нм). Как известно из курса оптики (здесь авторам пригодилась широта «лучшего в мире образования»), наблюдаемая в таком устройстве интерференционная картина чрезвычайно чувствительна к наличию тончайших инородных тел на границе окисла с воздухом. Таким удивительно простым и физически прозрачным способом удалось сравнительно быстро проклассифицировать графитовые чешуйки разной толщины, вплоть до монослойных (рис.2). Сейчас этот «метод микромеханического расслоения» доступен даже любознательному студенту.

В пионерской работе 2004 г. [3] манчестерско-черноголовской группе удалось достичь и искомой цели, изготовив первый полевой транзистор на основе тонкого (в несколько монослоев) монокристаллического графита в качестве рабочего слоя и сильнолегированного кремния в качестве полевого электрода (рис.3). Так родилась физика графена — двумерного кристалла, обладающего, как вскоре выяснилось, уникальными свойствами. Эта область стала самой популярной областью физики последних лет, а бурный поток статей по графенологии затопил редакции научных журналов мира.

Подчеркнем нерядовой характер открытия. Считалось, что фундаментальная теория строго запрещает существование двумерных кристаллов, и в частности графена. Предыдущие попытки разных авторов вырастить графен были безуспешны, что, казалось бы, подтверждало этот запрет. Но графен, полученный указанным выше способом, неожиданно оказался стабильным в свободном состоянии и не сворачивался. Теорию незаконнорожденного материала пришлось модифицировать с учетом вклада изгибных колебаний графеновой мембраны: теперь существование графена было формально разрешено. Более того, он оказался химически инертным, ме-

Рис.3. Первый графитовый полевой транзистор, с которого все и началось. Сделан «по-простому», без использования высокочистой зоны на основе пятислойной чешуйки графита, лежащей на окисленной поверхности легированного кремния. Контакты стока и истока, а также боковые потенциальные зонды изготовлены из серебряной эпоксидки. Манчестер—Черноголовка, 2004.

ханически прочным и упругим, обладал уникальным сочетанием высокой электропроводности и оптической прозрачности.

Особенно большой ажиотаж в мировом физическом сообществе вызвала необычная зонная структура графена. Графен — бесщелевой полупроводник: ширина его запрещенной зоны, обычно отделяющей зону проводимости от валентной, равна нулю по соображениям симметрии. Квантовое поведение двумерных электронов и дырок в нем описывается уравнением Дирака в ультрарелятивистском пределе (но с эффективной скоростью, в 300 раз меньшей скорости света в вакууме). Поэтому носители заряда в графене стали называть безмассовыми дираковскими фермионами. Множество работ (пока в основном теоретических) посвящено переносу на графен явлений, характерных для квантовой электродинамики. Есть надежда, что по мере дальнейшего улучшения качества образцов, такие экзотические эффекты, характерные для физики элементарных частиц, можно будет изучать не на гигантских ускорителях или в далеком космосе, а чуть ли не в «домашних» условиях.

Заманчивые перспективы сулит графен для приложений. В первых же экспериментах было установлено, что носители заряда в графене обладают при комнатной температуре большой подвижностью, на порядок превышающей таковую в кремнии. Это дало основание предсказывать наступление графеновой эры в микроэлектронике. Кроме того, доказана возможность локального легирования, локального изменения геометрии и химического состава графена, а также его локальной зонной структуры зондовыми и иными методами, что развязывает руки нанотехнологам, позволяя в принципе удовлетворять их буйные фантазии. Для реализации этих ожиданий технологам предстоит еще немало сделать. Более очевидны применения графена как прочного, гибкого, прозрачного и химически стабильного проводника (рис.4). Крупные компании уже объявили о скорой (через один-два года) коммерциализации графеноподобных материалов — в дисплеях для бытовой электроники.

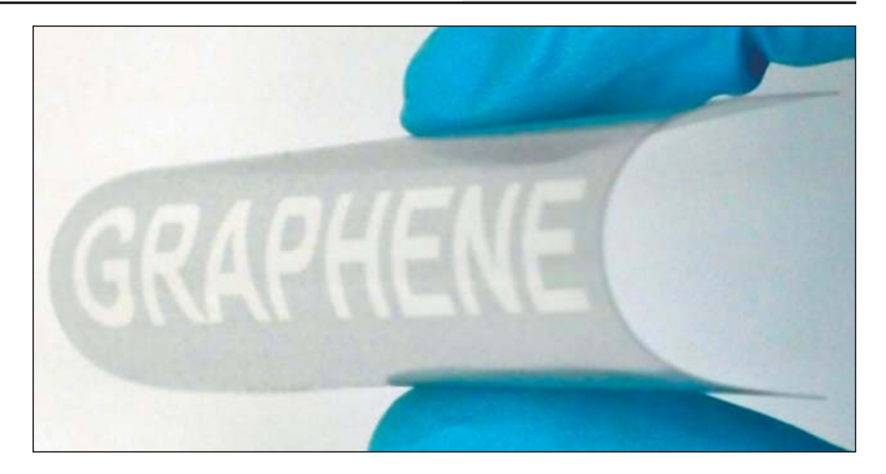


Рис.4. Прозрачное, прочное, гибкое, электропроводящее покрытие («несколькослойный» графен), нанесенное с помощью пульверизатора на пластик для оптоэлектронных применений (сенсорные экраны, жидкокристаллические экраны и др.). Манчестер, 2008.

Акт присуждения Нобелевской премии А.К.Гейму и К.С.Новоселову выглядит совершенно естественным и закономерным. Они внесли огромный вклад в становление графенологии. Как показывает статистика запросов на всех вэб-сайтах самого рейтингового научного журнала «Nature», в начале 2009 г. слово «графен» было самым популярным в научной среде, опережая по частоте запросов такие слова, как «рак» (второе место) и «ВИЧ» (третье место), в два раза, а «ожирение» (пятое место) — в три раза [4]. Неудивительно поэтому, что на вопрос интервьюера «Ожидали ли Вы присуждения Вам Нобелевской премии в 2010 году?» Андрей Гейм ответил: «Нет. Ожидал в 2009 году». Тогда он не угадал. Впрочем, трагедии из этого делать не стал, да и экспериментальная ошибка оказалась предельно малой.

Своими выдающимися гражданами гордятся Россия, Голландия и Англия (у лауреатов три непересекающихся гражданства на двоих). Гейм и Новоселов находятся в расцвете сил, к тому же Костя, точнее, Константин Сергеевич — один из самых молодых нобелевских лауреатов по физике за последние полвека. Пожелаем им новых открытий в науке. Уверен, они не заставят себя ждать.

© В.А.Волков,
доктор физико-математических наук
Институт радиотехники и электроники им.В.А.Котельникова РАН
Москва

Литература

1. *Berry M.V., Geim A.K.* // Eur. J. Phys. 1997. V.18. P.307.
2. *Geim A.K., Tisha H.A.M.S. ter* // Physica. 2001. V.B294— B295. P.736.
3. *Novoselov K.S., Geim A.K., Morozov S.V., Jiang D., Zhang Y., Dubonos S.V., Grigorieva I.V., Firsov A.A.* // Science. 2004. V.306. P.666.
4. *Segal M.* // Solid State Communications. 2009. V.149. P.1039.

По химии 2010 — Р.Хек, Э.Негиши и А.Сузуки

Нобелевская премия по химии присуждена «за разработку и применение катализируемого палладием кросс-сочетания в органическом синтезе». Лауреатами стали американец Ричард Хек и японцы Эй-ичи Негиши (он работает в США) и Акира Сузуки.

Это вторая за последние пять лет Нобелевская премия, присуждаемая за развитие гомогенного катализа. В 2005 г. премию получили И.Шовен, Р.Граббс и Р.Шрок за открытие и разработку реакции метатезиса в органическом синтезе. Сегодня каталитические процессы лежат в основе экономики развитых стран. В США, Японии, европейских странах и России каталитические технологии составляют до 40% промышленного производства. Это и нефтепереработка, и электроника, и медицина и многое другое.



Ричард Хек.

Ричард Хек (Richard Fred Heck) родился в 1931 г. в г.Спрингфилде, штат Массачусетс. В 1952 г. окончил Калифорнийский университет в Лос-Анджелесе, там же в 1954 г. защитил диссертацию под руководством известного химика С.Уинстейна. Затем стажировался в Швейцарии и Калифорнийском университете, а в 1957 г. начал работать в компании «Hercules Inc.» (штат Делавер). В 1971 г. Хек стал профессором химии университета этого же штата, где проработал 18 лет. В 1989 г., не получив финансовой поддержки для своих исследований, Хек ушел на пенсию. В последнее время живет на Филиппинах.

Путь Хека к именной реакции не был гладким, по принципу «озарение — результат». Он «подбирался» к ней больше пяти лет. В 1968 г. в одном выпуске журнала Американского химического общества (J. Am. Chem. Soc. №20) он опубликовал сразу 7 больших статей (всего 30 страниц) с внушительной экспериментальной частью. Хек установил, что ароматические производные палладия, которые он генерировал из арилртутных солей, реагируют с этиленом и многими его производными путем замещения атома водорода на арильную группу.



Эй-ичи Негиши.

В начале 70-х годов Хек и годом раньше японский химик Т.Мизороки разработали более простой способ катализируемого палладием кросс-сочетания, заменив опасные для здоровья ртутные соединения на арилгалогениды. Это была реакция Мизороки—Хека (или реакция Хека).

Эй-ичи Негиши (Ei-ichi Negishi) родился в 1935 г. в Чанчуне*, Китай. В 1958 г. окончил университет в Токио, после чего два года работал в международной корпорации «Тейджин» («Teijin») — крупнейшем производителе синтетического волокна и других химических продуктов. В 1960 г. уехал в США и в Университете штата Пенсильвания в 1963 г. защитил диссертацию под руководством профессора А.Р.Дэя. Затем вернулся в Японию (снова в «Тейджин»), но по прошествии некоторого времени решил делать академическую карьеру.

В 1966 г. Негиши — уже в г.Пердью (штат Индиана) в лаборатории профессора Г.Брауна (лауреата Нобелевской премии по химии за 1979 г.). Здесь несколько лет занимался изучением химии бороорганических соединений, в частности разрабатывал новые методы построения связей углерод-углерод (С–С) с использованием органоборанов. В 1976—1978 гг. открыл Pd- и Ni-катализируемое кросс-сочетание органических галогенидов с органическими производными Zn, Al и Zr.



Акира Сузуки.

У Негиши более 400 публикаций, в том числе две книги (вторая: Handbook of Organopalladium Chemistry for Organic Synthesis. NY.,

* Тогда это была столица Маньчжоу-го — Маньчжурского государства, созданного Японией на северо-востоке Китая и просуществовавшего с 1932 по 1945 г.

1992) и 7 патентов. Его работы процитированы более 17000 раз. Он — обладатель многих научных наград и премий (американских, немецких, японских и др.). Прекрасно играет на фортепиано, знает и любит русскую музыку и наши песни («Подмосковные вечера»).

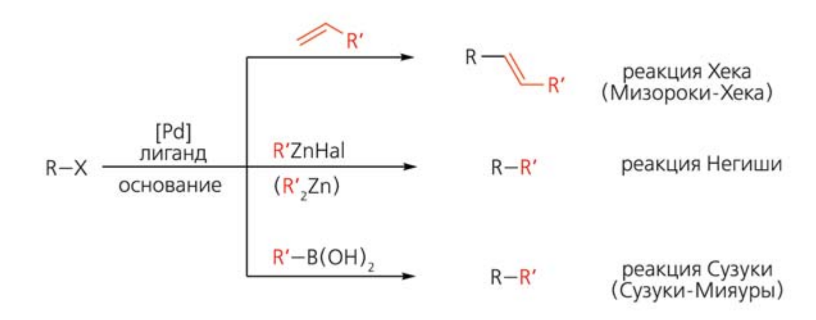
Акира Сузуки (Akira Suzuki) родился в 1930 г. в г.Мукава на Хоккайдо — самом северном острове Японии. Окончил Университет Хоккайдо (г.Саппоро), там же в 1959 г. защитил диссертацию. После защиты изучал химию фенантрена, аконитовых оснований, исследовал реакции органических соединений в суперкислотах. Но однажды в 1962 г., просматривая в книжном магазине новые книги по химии, он перелистал «Гидроборирование» американского профессора Г.Брауна. Эта книга сыграла решающую роль в его научной карьере. Через год Сузуки уже работал в лаборатории Брауна в Университете Пердью. В 1965 г. вернулся в родной университет в Саппоро, где позднее получил должность профессора и 21 год руководил лабораторией прикладной химии (1973—1994). Все это время он и руководимый им коллектив молодых ученых занимались решением самых острых проблем химии соединений бора. В 1979 г. Сузуки и один из лучших его учеников Н.Мияура открыли Pd-катализируемое сочетание арилборных кислот с органическими галогенидами. Эта реакция сразу привлекла внимание химиков-органиков.

В 1994 г. Сузуки ушел из Университета в связи с достижением пенсионного возраста (таковы законы Японии). Но научная жизнь Сузуки не кончилась. Он стал профессором химии в Университете науки в г.Окаяма, а через год — профессором Университета науки и искусств в г.Курашики в той же провинции Окаяма.

Главная задача органической химии, как известно, — создание новых связей углерод-углерод (С–С) и углерод-гетероатом (С–Х). Говоря проще, химики стремятся «собирать» из простых веществ (молекул) все более и более сложные соединения. К 70-м годам XX в. было уже разработано много эффективных и, что важно, селективных методов образования таких связей, основанных главным образом на взаимодействии электрофильных и нуклеофильных реагентов. Комбинацией известных методов (и реагентов) химики успешно получали (конструировали) в лаборатории органические молекулы любой сложности. Это были разнообразные природные вещества, лекарства, краски, средства гигиены (и парфюмерии), полимеры, материалы для современной техники и многое, многое другое.

Нобелевские лауреаты 2010 г., давно известные научному сообществу, открыли в 70-х годах прошлого века каталитические реакции сдваивания органических групп, произведшие революцию в органическом синтезе. Уже через 10—15 лет сами первооткрыватели и многие химики мира создали новую эффективную методологию конструирования связей С–С. Благодаря этому появились достаточно простые пути к соединениям, которые не удавалось получать (или их синтез был трудоемким) классическими методами органической химии.

Формально все три нобелевские реакции внешне очень просты. В общем виде их можно изобразить следующим образом:



Реакция Хека (Мизороки—Хека) — это замещение атома водорода в непредельном соединении на ароматическую, алкенильную или бензильную группу (R′), которая поставляется иодидом или бромидом. Необходимо и основание (карбонат или триэтиламин), которое связывает выделяющийся галоидоводород HI или HBr.

R′–Br + H(H)C=CH–R + Et_3N —кат. Pd(0)→

—кат. Pd(0)→ R′(H)C=CH–R + $[Et_3NH]^+Br^-$

В реакциях Сузуки—Мияуры и Негиши реализуется связывание двух органических групп R и R′; одна (R) принадлежит борному или цинкорганическому соединению, другая происходит из иод-, бром-, иногда хлорорганического субстрата или соответствующего трифлата (трифторметансульфоната). Особая привлекательность этих реакций — в многообразии партнеров для сдваивания. Одним компонентом могут быть простые и очень сложные производные алкил-, алкенил-, алкинил- и арилборные или -цинковые соединения, а вторым — алкил-, алкенил-, арил- и гетероарилгалогениды или трифлаты. Реализованы все возможные комбинации: алкил-арил, алкенил-арил и т.д.

Реакцию Сузуки—Мияуры и Мизороки—Хека можно проводить во многих растворителях (в воде, сверхкритическом диоксиде углерода, в ионных жидкостях) или без растворителя. Реакции ускоряются ультразвуком и микроволновым облучением; и тогда протекают за несколько минут.

Все реакции кросс-сочетания катализируются соединениями нульвалентного палладия. Выбор «правильного» катализатора, а также лиганда и основания определяет выход продукта. Самые доступные катализаторы — это комплекс $Pd(Ph_3)_4$ и $Pd_2(dba)_3$ (dba — дибензилиденацетон). На практике же используются диацетат палладия, хлористый палладий $PdCl_2$, его комплексы с нитрилами, димер аллилпалладийхлорида и т.д. Эти соединения в ходе реакции восстанавливаются до производных Pd(0), которые и «ведут» процесс. Восстановителями могут выступать фосфины, амины, металлоорганические реагенты, алкены и даже монооксид углерода. Важнейшим компонентом катализатора служит лиганд, в качестве которого обычно используются фосфины, реже — амины. Чаще всего применяются в металлокомплексном катализе довольно простые фосфины, но к настоящему времени получено несколько сотен более сложных и нередко — более эффективных. Число таких фосфинов увеличивается лавинообразно с каждым днем. Некоторые катализаторы можно купить, например, комплекс

который хорошо «ведет» реакцию Хека.

За внешней простотой реакций образования продуктов сдваивания кроется сложный процесс. Считается (и это подтверждено специальными опытами), что реакции Негиши и Мияуры—Сузуки протекают в три последовательные стадии:

— окислительное присоединение,

— трансметаллирование (переметаллирование),

— восстановительное элиминирование (образование R-R' и Pd(0)).

Химики ход таких процессов изображают в виде каталитического цикла:

Реакция Мизороки—Хека в общем протекает по близкому механизму, но с двумя дополнительными стадиями.

О применении в тонком органическом синтезе и в практике каждой из трех нобелевских реакций написаны книги и много больших обзорных статей. Их легко найти посредством современных информационных средств.

Здесь уместно привести несколько примеров успешного использования рассматриваемых реакций в органическом синтезе.

На основе **реакции Хека** получены соединения с разными функциональными группами или гетероциклами. Очень важно, что все такие группы **не изменяются** в ходе каталитического синтеза.

С использованием двух последовательных реакций Хека осуществлен синтез эстрадиола — женского полового гормона:

На реакции Хека основано производство напроксена — одного из сильнейших противовоспалительных лекарств, а также монтелукаста — средства лечения астмы. Кроме них получают и многие другие вещества, применяемые в медицине, электронной промышленности и т.д.

Реакция Негиши использована для получения из гексаиодбензола уникального ароматического соединения, в котором к каждому атому углерода бензольного кольца присоединена ферроценильная группа (всего шесть!)

R–Zn-R

$Pd_2(dba)_3$, ТГФ, 68°C, 63 ч

dba — дибензилиденацетон, R = Fe

В 2010 г. Негиши осуществил полный синтез ксерулина — полиненредельного лактона, который эффективно ингибирует биосинтез холестерина в организме. Для создания пяти новых углерод-углеродных связей Негиши последовательно использовал «свою» реакцию:

Zn–Pd Cu–Pd Zr–Zn-Pd

И все же наиболее популярна у химиков-органиков **реакция Сузуки–Мияуры** из-за ее почти безграничных возможностей и многообразия путей академического (в лабораториях) и практического применения. Она использована в синтезе диенов и полиенов, многих природных веществ и лекарств, дендримеров, люминесцентных, электропроводящих полиароматических соединений и т.д. Производятся фунгициды, а это тысячи тонн. Отметим только синтез циклопропильных соединений

$Pd(OAc)_2$, PPh_3

K_2CO_3, H_2O

и витамина А

из R-B из R'-I

Эффектен пример реакции Сузуки на заключительной стадии полного синтеза палитоксина (сильнейшего яда, продуцируемого мягким кораллом, обитающим у о-вов Окинавы).

Российские ученые также внесли заметный вклад в развитие и применение гомогенного катализа в тонком органическом синтезе. Лидеры здесь академики РАН И.П.Белецкая и Г.А.Толстиков, член-корреспондент РАН И.М.Джемилев и профессор Ю.Н.Белоконь. Существенные результаты получены в университетах и прежде всего — в МГУ, а также в ряде химических институтов РАН.

В заключение остается подчеркнуть, что открытые Сузуки, Негиши и Хеком реакции существенно обогатили тонкий органический синтез, подняли его на новый уровень. Их практическое применение несомненно повысит комфорт жизни людей.

© Академик **Ю.Н.Бубнов**

Институт элементоорганических соединений им. А.Н.Несмеянова РАН

По физиологии или медицине — Р.Эдвардс

Нобелевская премия по физиологии или медицине присуждена британскому ученому Роберту Эдвардсу за разработку метода экстракорпорального оплодотворения (ЭКО). Эта премия — истинно медицинская, в отличие от уже привычных наград, вручаемых в этой области на протяжении последних десятилетий за работы по молекулярной биологии. Метод ЭКО, открытый нобелевским лауреатом более 30 лет назад, сегодня широко используется во всем мире для борьбы с бесплодием и постоянно совершенствуется.

Роберт Эдвардс (Robert Edwards) родился в 1925 г. в Манчестере, в 1952 г. окончил Эдинбургский университет по специальности «генетика животных», успев до этого отслужить в армии с 1944 по 1948 г. После университета исследователь занялся биологией размножения. Экспериментальным материалом служили в основном лабораторные мыши. У грызунов, как и у людей, овуляция происходит ночью, поэтому Эдвардсу приходилось подстраивать свой график работы под физиологию мышей и проводить ночи в лаборатории на протяжении первых трех лет исследований. Впоследствии он добился возможности получать овуляции в нужное время и, более того, научился медикаментозно управлять количеством одновременно созревающих яйцеклеток (ооцитов). Эту работу он вел вместе со своей будущей женой.

В 1955 г. Эдвардс защитил диссертацию, посвященную эмбриологии мышей. Еще несколько лет ушло на отработку условий, при которых возможно оплодотворение яйцеклеток и дробление эмбрионов *in vitro* — вне организма мышей, экстракорпорально. Через три года он получил место сотрудника Национального института медицинских исследований в Лондоне и тогда же начал экспериментировать с незрелыми яйцеклетками, извлеченными у женщин во время и после операций на яичниках.

С 1963 г. началась работа в Кембриджском университете, где через несколько лет Эдвардсу в лабораторных условиях удалось получить оплодотворенные яйцеклетки. Продолжая изучать условия, необходимые для деления ооцитов *in vitro*, ученый понял, что нужны зрелые ооциты, выделенные из яичников. Так, в конце 60-х годов Эдвардс привлек к сотрудничеству Патрика Стептоу*, британского гинеколога, прекрасно владеющего лапароскопией. Именно этим методом исследователи стали извлекать из яичников женщины зрелые ооциты, которые могли бы в искусственной среде развиваться до стадии бластомеров.

Это был несомненный успех, но для продолжения работ нужны были средства. Однако Совет по медицинским исследованиям отказался финансировать столь рискованный и этически неоднозначный по тем временам проект, находившийся под пристальным вниманием Церкви. Но Эдвардс и Стептоу продолжили работу, опираясь на частную поддержку и собственные средства.

Через несколько лет упорной работы, преодолевая активное сопротивление кликуш и клирикалов всех мастей, исследователям удалось найти условия, при которых оплодотворенные ооциты делились *in vitro* до стадии восьми клеток. Такие бластомеры уже можно было имплантировать в полость матки. Наконец в 1977 г. была проведена успешная пересадка эмбриона в полость матки пациентки Лесси Браун, страдающей трубной формой женского бесплодия. В 1978 г. появилась на свет Луиза Браун, которая стала надежным подтверждением безопасности и эффективности метода Эдвардса и Стептоу, дала надежду миллионам бесплодных пар (в мире и сегодня бесплодием страдает 10—15 % супружеских пар).

* П.Стептоу умер в 1988 г. С 1974 г. по решению Нобелевского комитета премия посмертно не присуждается.



Роберт Эдвардс.

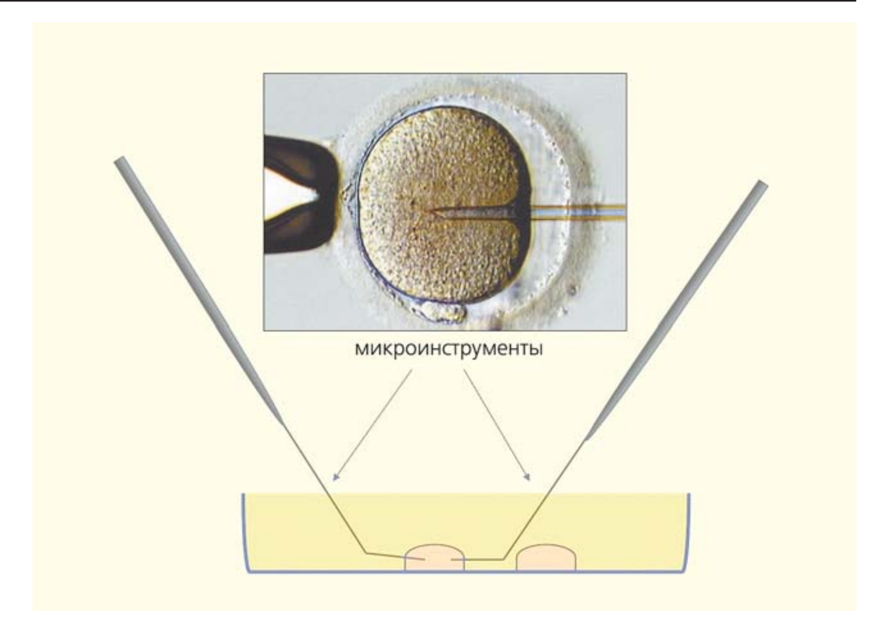
После появления этого принципиально нового метода исследователи открыли в Борн-Холле, вблизи от Кембриджа, первый в мире Центр репродукции человека, где уже к 1986 г. благодаря ЭКО родилось более 2 тыс. здоровых детей.

Эдвардс и Стептоу вначале проводили ЭКО в естественных циклах. У женщины, как можно ближе к моменту овуляции, во время лапароскопии брали единственную яйцеклетку, добавляли к ней сперматозоиды мужа, помещали в инкубатор и затем переносили эмбрион в полость матки женщины. Эффективность метода была сначала очень низкой, не более 10%. Часто яйцеклетку получить не удавалось, нередко она останавливалась в развитии. А поскольку у человека овуляция происходит в основном ночью,

всей оперирующей бригаде гинекологов и эмбриологов приходилось работать ночи напролет. Тогда Эдвардс и Стептоу решили стимулировать яичники гонадотропинами, что позволило управлять количеством созревающих яйцеклеток и временем их получения и, самое главное, резко повысило частоту наступления беременности.

Наша страна одной из первых подключилась к работе в этом направлении. Ее вели врачи-исследователи Ленинграда (А.И.Никитин, Э.М.Китаев, Г.А.Савицкий, Р.Д.Иванова) и Москвы (Б.В.Леонов, В.А.Лукин, Е.А.Калинина, В.М.Здановский, М.Б.Аншина и др.). После преодоления большого числа организационных и многих других сложностей, связанных с отсутствием необходимого медицинского оборудования, лекарственных препаратов и питательных сред, лабораторно-клинические исследования завершились успехом к 1986 г. В Москве и Ленинграде с разницей в несколько месяцев появились на свет здоровые девочка и мальчик*.

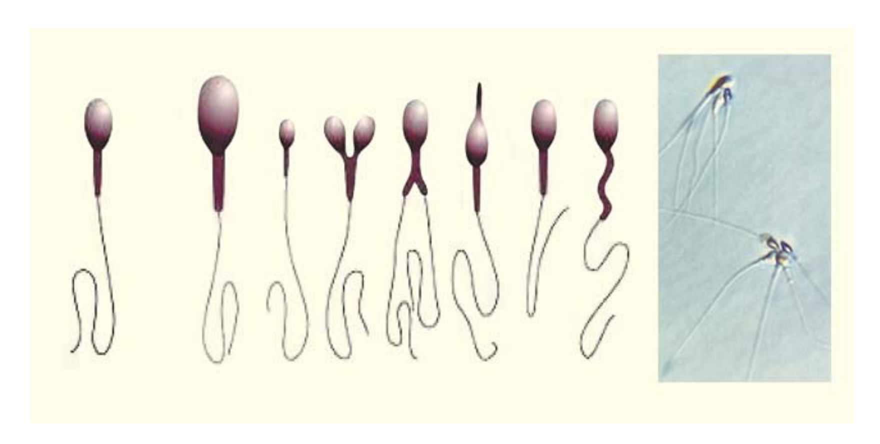
В центрах репродукции, которые открывались во многих странах, продолжались работы по совершенствованию новых репродуктивных технологий, расширялись возможности лечения разных видов бесплодия. Так, для борьбы с мужским бесплодием (сегодня оно составляет 40% в семейных парах) был предложен метод ICSI (от англ. IntraCytoplasmic Sperm Injection — введение спермы в цитоплазму), ставший возможным по мере обретения опыта и совершенствования оптической и микроманипуляционной техники. Введение сперматозоида в яйцеклетку с помощью специальной микроманипуляционной техники с 400-кратным увеличением существенно повысило эффективность процедуры ЭКО. Сегодня ICSI признается основным способом борьбы с мужским и сочетанным бесплодием.



Введение сперматозоида в цитоплазму яйцеклетки методом ICSI.

В 1999 г. появилась новая технология — MSOME (от англ. Motilee Sperm Organellar Morphology Examination — изучение морфологии подвижных сперматозоидов), позволяющая во время манипуляции отбирать морфологически совершенные сперматозоиды при помощи насадки для микроскопа с новым комбинированным оптико-электронным методом увеличения в 6300 раз. Изучение спермы при таком увеличении дало возможность выделить четыре группы сперматозоидов: от неспособных к оплодотворению до высокоэффективных. Введение в цитоплазму морфологически нормальных сперматозоидов получило название IMSI (от англ. Intracytoplasmic Morphologically Normal Sperm Injection). Эффективность этого метода при самых тяжелых формах мужского бесплодия, включая генетически обусловленные, сегодня растет по мере накопления опыта.

Совершенствуются методы извлечения сперматозоидов из разных отделов полового тракта мужчин, разрабатывается крио-



Нормальный сперматозоид (слева) и морфологически измененные, не приводящие к беременности.

* Подробнее см.: *Аншина М.Б.* ВРТ: Прошлое, настоящее и будущее // Проблемы репродукции. 2002. №3; *Китаев Э.М.* Из истории развития ЭКО в России // Там же. 2002. №4—6; 2003. №1.

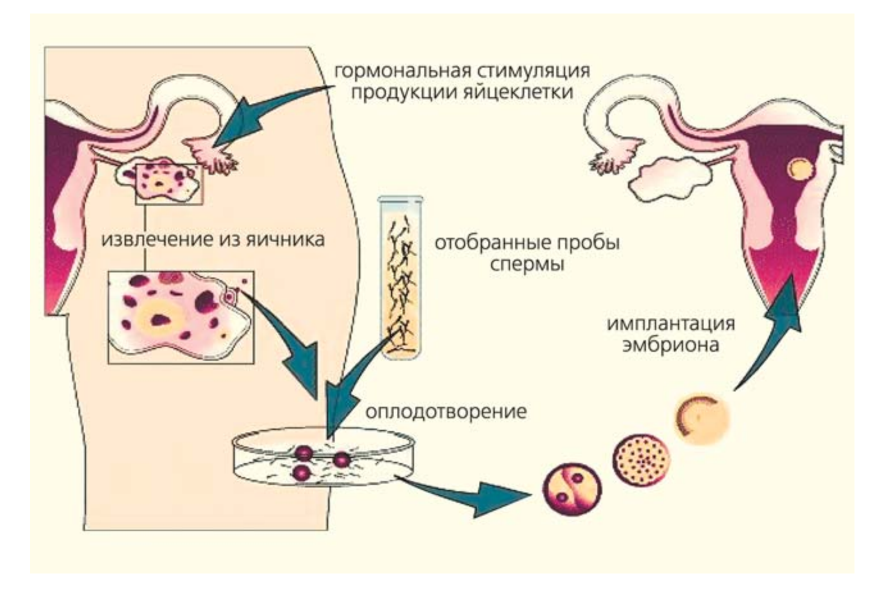


Рис.4. Этапы ЭКО. Сегодня они включают: 1 — назначение препаратов, стимулирующих рост нескольких фолликулов, с индукцией суперовуляции; 2 — оценка ответа яичников на применение препаратов при помощи серии ультразвуковых и гормональных исследований, гормональный и ультразвуковой мониторинг; 3 — выбор момента, когда следует произвести пункцию фолликулов (как можно ближе ко времени естественной овуляции) с помощью ультразвуковых исследований и определения концентрации гормонов в сыворотке крови или моче; 4 — пункция фолликулов, аспирация (отсасывание) их содержимого, извлечение из него яйцеклеток, помещение их в специальные условия; 5 — получение и подготовка сперматозоидов; 6 — соединение яйцеклеток и сперматозоидов (инсеминация яйцеклеток) *in vitro* и культивирование их в инкубаторе в течение 48—72 ч; 7 — перенос эмбрионов в матку матери; 8 — назначение препаратов, поддерживающих имплантацию и развитие эмбрионов; 9 — диагностика беременности; 10 — ведение беременности и родов.

консервация полученного материала, обеспечивающая его повторное и отсроченное использование, улучшаются характеристики питательных сред. Изучение ДНК сперматозоидов, определение ее фрагментации сегодня находится в поле зрения многих исследователей — эмбриологов и репродуктологов.

Уже хорошо отработаны и широко применяются способы криоконсервации не только сперматозоидов и яйцеклеток, но и эмбрионов, что значительно расширило границы применения вспомогательных репродуктивных технологий (ВРТ). Появились программы с использованием донорских яйцеклеток для женщин без яичников и программы суррогатного материнства для женщин с отсутствующей или неразвитой маткой в результате как врожденных, так и приобретенных заболеваний.

Все эти подходы строятся на базовой технологии ЭКО, предложенной Эдвардсом и Стептоу. Сегодня помимо экстракорпорального оплодотворения и переноса эмбриона в полость матки к вспомогательным репродуктивным технологиям относят: инъекцию сперматозоида в цитоплазму ооцита; искусственную инсеминацию спермой (мужа или донора); донорство спермы, ооцитов, эмбрионов, их криоконсервацию и хранение; предимплантационную диагностику наследственных болезней; суррогатное материнство.

Неизбежно возникли и новые проблемы медико-правового и этического характера. Примечательно, что первый проект закона, регламентирующий этические и правовые вопросы использования технологий вспомогательной репродукции, был представлен Эдвардсом и Стептоу и принят в Великобритании еще в 1984 г. Многие вопросы окончательно не решены и обсуждаются до сих пор. Наиболее спорным остается отношение к суррогатному материнству. Оно запрещено в Германии и Франции; в США, Канаде, Австралии и России — разрешено без ограничений; в Бразилии и Венгрии может применяться лишь с привлечением близких родственников. В Греции, Нидерландах, Норвегии, Швейцарии и Испании суррогатное материнство разрешено только на некоммерческой основе. Показателен и протест Ватикана против нынешней Нобелевской премии. В целом в законодательстве многих стран наблюдается тенденция к уменьшению запретов.

Формулировки международно-правовых документов оставляют возможность заинтересованным лицам и движениям отстаивать точку зрения о применении методов ВРТ в качестве альтернативного способа репродукции (отделение размножения от секса), прямо не связанного с бесплодием и методами его лечения.

При оценке правовых оснований допуска к репродуктивным технологиям базовым считается положение о гендерной (социополовой) асимметрии репродуктивных прав, объясняющейся принципиально разной ролью мужчин и женщин в процессе репродукции.

Обсуждаются права женщины, непосредственно связанные с ее биологическим и гражданским полом (право на прерывание беременности, ЭКО и перенос эмбриона, пособие, льготы, отпуска, связанные с гестационным периодом, и т.д.), приоритет материнства, вынашивания и рождения, этические и социокультурные ограничения, гендерная составляющая во-

просов родительства, а также права ребенка иметь и знать своих родителей.

В России, согласно Конституции, женщина и мужчина имеют равные права, в том числе право на родительство. Сегодня стали широко обсуждаться проблемы так называемого «автономного отцовства», обеспечивающего генетическое родство и одновременно позволяющего обойти процедуру усыновления ребенка при нежелании мужчины связывать свою судьбу с женщиной, в том числе с целью избежать в последующем имущественных претензий. Решаются также вопросы семейного законодательства и наследственного права в новых социально-экономических условиях. В частности, за последние пять лет в России появилось 46 детей, рожденных суррогатными матерями для одиноких отцов: в 45 случаях — через процедуру фиктивного брака, в одном — в графе «мать» у ребенка уже стоит прочерк, что подтверждено соответствующим судебным решением.

Следующий шаг — возобновление ранее приостановленной работы по созданию «искусственной матки». Ее успех повлечет изменение правового подхода к определению «человек» (согласно нынешним международным правовым актам, «людьми… являются *родившиеся* человеческие существа»).

Следует отметить, что Роберт Эдвардс занимался не только чистой наукой. Он оказался первым, кто создал Европейское общество репродукции и эмбриологии (ESHRE), насчитывающее сегодня десятки тысяч человек; создал первые профессиональные журналы «Репродукция человека», «Молекулярная репродукция человека» и другие. Благодаря этой стороне его деятельности метод быстро завоевал известность, признание и дал врачам всех стран детальные инструкции по «зачатию детей в пробирке».

Сегодня в мире с помощью ВРТ рождено более 4 млн детей, многие из которых уже сами стали родителями. В мире активно работает более 1000 клиник, занимающихся проблемами бесплодия, и центров репродукции. В Европе их 580, в США — 430, в России — 62. Частота наступления беременности в них составляет от 25 до 35% в расчете на одну попытку (естественное зачатие имеет шансы не более 20% в одном цикле). В странах Европы с помощью ВРТ рождается от 2 до 4% детей. В России в 2006 г. родилось 1 млн 425 тыс. детей, из них 5335 в циклах ВРТ (в 2005 г. — 3855).

Больше 20 лет жизни эмбриолог Роберт Эдвардс и гинеколог Патрик Стептоу посвятили моделированию процесса зарождения жизни человека. Сегодня «оплодотворение в пробирке» — ЭКО — конкурирует по эффективности с естественным зачатием. Для огромного числа людей ВРТ — единственная возможность иметь ребенка.

Несмотря на неизбежные этические проблемы, возникающие с развитием новых репродуктивных технологий, эти работы бесспорно способствуют человеческому развитию и прогрессу — в том числе в отношении здоровья будущих поколений. Кроме того, благодаря методу ЭКО, у врачей появился доступ к зародышевому материалу еще до зачатия ребенка, что дало основу для диагностики и профилактики наследственных генетических заболеваний. На этом пути нас также ожидают новые достижения и открытия.

© М.Б.Аншина,
кандидат медицинских наук
А.С.Акопян,
доктор медицинских наук
Центр репродукции
и генетики «Фертимед»
Москва

ПРИРОДА

популярный естественно-историческій журналъ

Подъ редакціей проф. Л. В. Писаржевскаго и проф. Л. А. Тарасевича.

Философія естествознанія.—Астрономія.—Физика.—Химія.—Геологія съ палеонтологіей.—Минералогія.—Микробіологія.—Медицина.—Гигіена.—Общая біологія.—Зоологія.—Ботаника.—Антропологія.—Человѣкъ и его мѣсто въ природѣ.

Октябрь Москва 1913

Младенческие годы химии

доктор Альберт Штанге

Созерцая современное мощное здание химии с ее многочисленными побочными дисциплинами, можно убедиться в том, что эта огромная творческая работа началась не только с восемнадцатого столетия, но что уже и до этого времени совершалась большая работа в области химического исследования.

На это указывает, прежде всего, существование ряда древних преданий греческого происхождения, послуживших исходным материалом при составлении настоящего труда. Затем в качестве источников были использованы отчасти данные археологических раскопок, отчасти же — отдельные места из творений античных авторов. Из последних в этом отношении главным образом важны произведения Теофраста (371—283 г. до Р.Х.), ученика Платона и Аристотеля (от Теофраста до нас дошло сочинение о минералах), затем более позднего происхождения произведения грека Диоскорида (средина 1-го столетия) и римлянина Гая Плиния Старшего, родившегося в 23 г. и погибшего в Помпее при извержении Везувия в 79 году. Сравнительно меньшее значение имеют для нас здесь произведения Аристотеля.

Особенно важно для нас сочинение Плиния, большая «Естественная история» — «Naturalis historia», — так как оно дает возможность сделать довольно полный обзор античного природоведения, но, к сожалению, мы сплошь и рядом не можем истолковать приводимых Плинием названий, смысл которых уже изменился, и поэтому возникают различного рода сомнения. Из минерального царства природы прежде всего люди ближе познакомились с металлами.

По Плинию, название «металл» получилось благодаря тому обстоятельству, что металлы никогда не встречаются в природе в одиночку, а их находят один вместе с другим — «μεταλλα». У Геродота слово «μεταλλου» обозначает рудник.

Характерными особенностями металла считались его тягучесть, блеск и твердость. О возникновении металлов в недрах Земли древние соста-



Аристотель со своими учениками. Резано по дереву около 1480 г.

вили себе самые странные представления. Аристотель, например, полагал, что руды металлов образуются благодаря доступу воздуха к внутренним частям Земли, и соответственно этому принимал, что в выработанных рудниках имеет место новообразование земной коры. Такое воззрение сохранялось даже до времени Линнея (1707—1778). Ганс Рудтард (1523 г.) передает сущность этого воззрения следующим образом: «Для возникновения всякой металлической руды необходима наличность некоторого воздействующего агента и подлежащего его воздействию объекта. Общим источником сил, вызывающих к жизни металлы, является небо с его движением, светом и влиянием. Влияние неба разнообразится движением небесного свода и встречным движением семи планет. Таким образом, каждому металлу соответствует особое специфическое влияние от одной из семи планет, как, например, золоту — от Солнца, серебру — от Луны и т.д. Непосредственное же участие в акте зарождения металлов принимают ртуть и сера, играющие здесь такую же роль, как мужское семя и женское яйцо в зачатии ребенка.

Сера при этом является активным агентом, а ртуть — объектом воздействия со стороны этого агента, причем продуктом этого взаимодействия между серой и ртутью и является металлическая руда или металл».

При этом, признавая за решающий момент в возникновении того или другого металла влияние какой-либо планеты, древние оставляли в стороне вопрос о природе вышеупомянутой родительской четы, производящей металлы.

Для символического изображения металлов пользовались изображениями тех греческих богов, именем которых были названы соответствующие планеты и металлы.

Уже в древнейших рукописях античных культурных народов (египтян, евреев и индусов) можно встретить указание на близкое знакомство этих народов с обработкой металлов. Первыми учителями человечества, познакомившими его с этим искусством, считаются главным образом мифические личности, в Библии — Tubalkaies (И.Моисей, 4, 22), у греков — например, Прометей, Кадм и т.д. Если перевод еврейских слов, обозначающих «металлы», правилен, то евреи знали шесть металлов, а именно: золото, серебро, медь, железо, свинец и олово.

Некоторые металлургические процессы были хорошо известны грекам и римлянам, и у Диоскорида, Плиния и позднейших писателей можно найти довольно подробные данные о добывании и выплавке металлических руд.

Золото и серебро были известны уже в доисторические времена. Мы знаем, что необычайная тягучесть металлов возбуждала изумление древних народов и что последние, пользуясь этим свойством, умели покрывать золотом различные предметы.



Эмблема золота.

Золото, Sol, Aurum, Rex metallorum[1]. Одно из названий золота — Nub, — вероятно, находится в связи с названием страны Нубии в Египте. Золотые рудники в Нубии очень интенсивно разрабатывались египтянами; как рассказывают Agartharchides, а также Диодор и Siculus, на этих рудниках тонко размолотую руду подвергали промывке и затем сплавляли тяжелый остаток, получавшийся после промывки.

В царствование Рамзеса II египетские рудники, как надо полагать, доставляли золота ежегодно на сумму около 2500 миллионов марок. Богатая золотом страна Офир, из которой финикияне вывозили этот драгоценный металл, должна была находиться в Индии, в Мидии или на восточном берегу Аравии.

В древности умели добывать не только такое золото, которое встречается в самородном состоянии, но также и заключающее в себе примеси в виде сернистых или мышьяковистых металлов.

Впервые у Диодора мы находим заимствованные от Agartharchides указания на процесс капелирования, которым пользовались для выделения золота из примесей и который, по этим данным, был известен приблизительно за 200 лет до Р.Х. Весьма любопытно нижеследующее сообщение Плиния: алчный до золота Калигула приказал переработать на золото большое количество желтого сернистого мышьяка (аурипигмента), сходного с золотом по внешнему виду. Путем такого опыта Калигула действительно получил золото, но в таком ничтожном количестве, что понес весьма большой убыток, тем более для него чувствительный, что Калигулой при этом опыте руководила только алчность. <...> Процесс

[1] Rex metallorum — царь металлов. — *Прим. перев.*



Эмблема серебра.

амальгамирования, так же, как и очищение золота с помощью ртути, в эпоху Плиния был уже давно известной операцией. Отделять золото от серебра до нашей эры, по-видимому, еще не умели, доказательством чего может служить рассказ о том, как Архимед выполнял поручение определить содержание серебра в короне Гиерона; эту задачу Архимед пытался разрешить физическим путем — определением удельного веса, — а не химическим. Даже в эпоху императора Юстиниана отделение золота от серебра считалось еще очень трудной задачей; в литературных памятниках времен этого императора разделение золота и серебра по трудности сравнивается с разделением вина и меда.



Эмблема меди.

Серебро, Argentum. Серебро привозилось финикиянами из Армении и Испании. Его очищение в эпоху рождения Христа, по сообщению Страбона, производили через сплавление со свинцом.

Заслуживает упоминания нижеследующее место в VIII книге (гл.3) «Метафизики» относительно серебра: «Относительно серебра нельзя задаваться вопросом, что оно представляет из себя, а можно о нем лишь говорить, что оно обладает теми же свойствами, что и олово». Сплав золота с серебром считался особым металлом, который у египтян назывался «asem», у греков — ηλεχτρος — электрос; эти обозначения встречаются у Гомера.

Медь, Aes cyprium, Erz, Cuprum, Orichalcum. Наиболее ранние сведения о меди, которой пользовался уже доисторический человек, относятся преимущественно к сплавам ее с другими металлами, главным образом к бронзе, пока древние не научились отделять ее от другой составной части бронзы, металлического олова. В древнеегипетских рукописях о последнем не упоминается ни разу. По описанию Гомера, герои Троянской войны имели медное оружие; из этого следует заключить, что в то время для приготовления оружия служила медь, а не железо. Греки и римляне получали медь главным образом с родины Венеры, с острова Кипра и поэтому называли ее aes cyprium; это название изменилось потом в Cuprum. Относительно добывания меди Плиний сообщает очень мало; для медицинских целей применялись с древних времен соединения меди: Aes ustum[1], которая представляла из себя, по-видимому, закись меди, Squama aeris, Viride aeris, и медный купорос. Плиний приводит небольшое наставление для приготовления закиси меди; согласно этому наставлению, кипрскую медь нужно было обжигать в глиняных горшках, добавляя в них серы, квасцов или соли.

Свинец, Plumbum nigrum, Stannum. Свинец добывался и применялся греками и римлянами в больших количествах. О процессе выплавки свинца известно мало, так как Плиний в своих описаниях выразился об этом очень неясно. Древние смотрели на свинец и олово не как на различные вещества, но только как на особые разновидности одного и того же металла. Плиний называл обе эти разновидности Plumbum nigrum, черный свинец, и Plumbum candidum, белый (блестящий) свинец, или олово; точно так же и сделавшееся позднее общеупотребительным название олова — Stannum — Плиний употребляет по отношению к свинцовым сплавам. Это видно из следующих слов Плиния: «Черный свинец бывает двоякого происхождения, так как он или образует свою собственную жилу, в которой уже ничего другого не содержится, или же он появляется вместе с серебром и в таком случае выплавляется из смешанной

[1] Aes ustum — жженая медь. — *Прим. перев.*

жилы. Первым продуктом выплавки, получающимся из печей, является олово (Stannum), вторым — серебро, а то, что остается в печах, представляет из себя свинцовую окись».

Свинец применялся для изготовления водопроводных труб, дощечек для письма, монет; также хорошо было известно паяние свинцом или сплавом его с оловом.

Далее свинец находил у древних разнообразное применение во врачебном искусстве. Плиний, например, в своей «Естественной истории» (т.34, гл.50) называет некоторые свинцовые препараты античной медицины, как то: Plumbum lotum — свинец, полученный в виде мелких частичек посредством отмучивания водой свинцового порошка, Plumbum ustum — черный сернистый свинец, Scoria plumbi — получавшийся с помощью отмучивания тонкий порошок свинцовых шлаков и состоявший из свинцового силиката и окиси свинца.

Окись свинца называли Lithargyrum auri или Lithargyrum argenti, смотря по тому, получалась ли она в качестве побочного продукта в золотоплавильных печах или в печах для выплавки серебра; окись свинца употребляли для приготовления свинцовых пластырей. Далее Плинием упоминаются Psimithium, или Cerussa, — свинцовые белила, суриковая киноварь (Minium-Zinnober). Уже тогда, равно как и позднее, в Средние века, сурик употреблялся для раскрашивания заставок в рукописях и книгах, и это искусство еще и теперь называют миниатюрной живописью (от слова Minium). Плиний под названием «Minium» также понимал сурик; о приготовлении сурика Плиний говорит, что он получается из серебра и свинцовых руд через обжигание в печах и последующим перемалыванием превращается в порошок. Плинию было также известно, что свинцовые белила при прокаливании переходят в сурик. Отсюда следует, что уже и в то время умели приготовлять сурик таким же способом, как и теперь, т.е. прокаливанием окиси свинца. Заслуживает упоминания также и то обстоятельство, что греки времен Диоскорида приготовляли свинцовые пластыри из глета и масла.

Олово, Stannum, или Jupiter, у греков — χασσιτερος; думают, что последнее название в «Илиаде» означает металлическое олово; правдоподобность такого взгляда, однако, весьма сомнительна. Также неизвестно, откуда финикияне получали обозначавшийся этим названием металл (а может быть, сплав), из Индии, Британии или Иберии. Звуковое сходство санскритского слова Kastira с χασσιτερος возымело силу аргумента в пользу предположения, что олово получалось из Индии (ср. «Космос» Александра фон Гумбольдта, II, стр.409). Существует предание, что олово добывалось на островах Атлантического океана и доставлялось оттуда в плетеных, обшитых кожей судах. Хотя Плиний и полагает, что острова, с которых вывозилось олово, находились у берегов Испании, однако будет правильнее под «оловянными островами» древности понимать Британские острова, так как еще и теперь олово находят в первозданных породах Корнваллиса.



Эмблема свинца.

С металлическим цинком народы древности, по всей вероятности, не были знакомы, но его сплавы с медью пользовались широким распространением. Упоминание о латуни мы находим уже у Аристотеля. Латунь долгое время считали медью, которая только получила желтую окраску благодаря сплавлению с особой «землей» cadmia, и только много позднее латунь стали признавать за сплав. Затем относительно цинка Аристотель делает еще и такое указание (ср. Bekker S.835, 62, Z.9): «Рассказывают, что латунь блестяща и бела



Эмблема олова.



Эмблема железа.

не потому, что в ней находится олово, а потому, что она представляет собою сплав с особой землей».

Вещество, обозначавшееся названием cadmia, приобрело широкую известность еще за 300 лет до Р.Х. как лечебное средство и представляло собой как окись цинка, так и богатые цинком руды. По K.B.Hofmann'у, весьма вероятно, что название «галмей»[1] произошло от слова cadmia.

Железо, Ferrum. Хотя с железом человек познакомился и не так рано, как с медью, он пользовался им, однако, еще во времена седой древности, и именно египтяне были знакомы с применением железа за 5000 лет до Р.Х. Вообще большая часть древних народов была уже знакома с обработкой железа. Моисей, например, относит время знакомства с железом к эпохе, предшествовавшей Потопу, что подтверждается следующим местом 5-й Книги Моисея (8 гл. V, 7 и 9): «Господь Бог твой ведет тебя в прекрасную страну... страну, камни которой суть железо, там ты из гор будешь высекать медь!» Греки приурочивали открытие железа ко времени Прометея; относительно самого способа получения железа и относительно того, какие руды главным образом перерабатывались на железо, мы знаем мало; однако магнитная руда в древние времена, очевидно, была признана лучшей по сравнению со всеми другими рудами, так как Плиний в своей «Естественной истории» (т.34, гл.51) говорит: «Распознавать эту руду можно без всякого затруднения, так как она уже по своему цвету отличается от земли». Само железо получалось в плавильных печах; о форме этих печей, как древнейших египетских, так и более позднего происхождения римских, можно судить по надписям и раскопкам. Египтянам были известны также способы закалки железа.

Ртуть, Argentum vivum[2], Hidrargyrum, Mercurius vivus. Первые указания на этот металл можно найти у Теофраста (около 300 г. до Р.Х.), который приводит и способ получения ее из киновари[3] с помощью меди и уксуса и дает ей название живого серебра. О другом способе получения ртути из киновари, смешанной с железом, упоминает Диоскорид. Плиний отличает самородную ртуть (Argentum vivum) от ртути, получаемой из киновари (Hidrargyrum), и относительно первой говорит: «В этих жилах (серебряная руда) встречается также камень, вечно жидкий выпот которого называется ртутью (Argentum vivum). Это — яд для всех вещей, который разъедает сосуды, просачиваясь через их стенки в виде отвратительной жидкости. Все плавает на ней, за исключением только золота». (Ср. Плиний «Естеств. история», т.33, гл.32.)

Далее Плиний упоминает, что ртуть очищают, продавливая ее через кожу; о получении металлической ртути из киновари Плиний говорит так: «Из сурика второго рода (киноварь) человек добыл также ртуть, которая одинакова с самородной ртутью. Она получается двояким путем: или киноварь толкут пестами в медных ступках с уксусом или помещают ее в железной чашке на глиняное блюдо, покрывают другой чашкой, которую замазывают глиной, раскаливают ее на огне, раздуваемом под блюдом с помощью меха, и собирают осевший на чашке пот, который имеет вид серебра и подвижность воды. Полученная таким образом ртуть так же легко разделяется на капли и точно так же легко собирается в скользкую жидкость. Так как ее единогласно считают ядом, то все, что



Эмблема ртути.

[1] Галмей — цинковая руда. — *Прим. перев.*

[2] Argentum vivum — живое серебро.

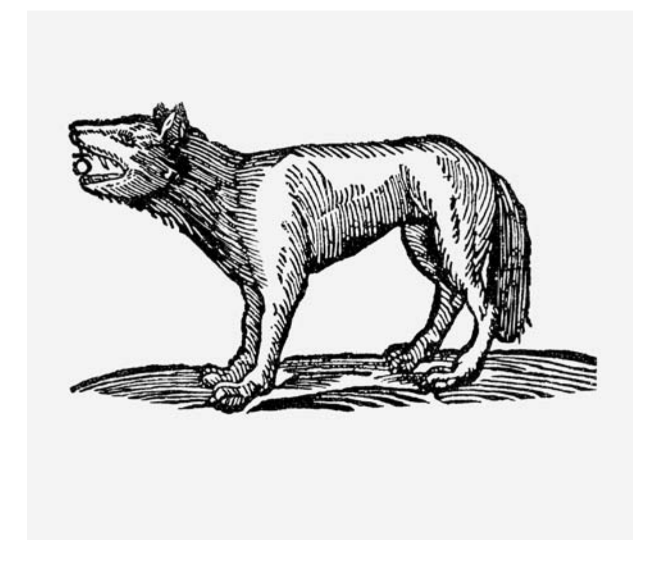
[3] Киноварь — природное сернистое соединение ртути. — *Прим. перев.*

рекомендуется относительно употребления киновари во врачебном искусстве, я считаю рискованным, за исключением, может быть, того случая, когда она прикладывается к голове или животу для остановки кровотечения и когда она, следовательно, не может проникать во внутренности или соприкасаться с раной; другого применения ее я не посоветовал бы». (Ср.: Плиний, «Естественная история», т.33, гл.41). Как уже упоминалось выше, способность ртути растворять золото была давно известным фактом, которым пользуется также Vitruo, давая подробное наставление, как можно с помощью ртути добыть золото из старой вышитой золотом одежды.

Сурьма, Stibium, Antimonium. До 15-го столетия металлической сурьмы не знали, а знали только встречающееся в природе черное сернистое соединение ее, и это последнее применялось в древности главным образом как средство против рака, кровотечения и т.д. По Плинию, римляне называли это соединение Stimmi, Stibi. Оно называлось также «расширителем глаз», потому что являлось главной составной частью мази, которой римские женщины обыкновенно подводили себе брови. О подобном же применении сернистой сурьмы упоминается в Ветхом Завете у Иезекииля. О получении сернистой сурьмы в чистом виде у Плиния и Диоскорида имеется несколько указаний, которые являются, однако, очень неясными.

Мышьяк, Sandaracha, Auripigmentum, заводская копоть. В древние времена были известны только сернистые соединения мышьяка, которые у Аристотеля (400 лет до Р.Х.) обозначались названием Sandaracha, а у Диоскорида — Arsenicum[1]).

Диоскорид различал два вида сернистого мышьяка — золотисто-желтый, который он называл аурипигментом — заводской копотью, и красный, цвета киновари, получивший название Sandaracha, или также реальгар. Плиний о применении Sandaracha (реальгара) говорит следующее: «Он пригоден для очищения, успокоения, согревания и прижигания, так как по преимуществу имеет едкую силу. Применяемый в виде мази с уксусом он вызывает рост волос на лысинах; он также входит, как составная часть, в глазные лекарства. Принятый внутрь с медом он очищает горло и делает голос ясным и звучным; принятый с терпентинной смолой в пище он благотворно действует на страдающих одышкой и кашлем; таким больным он помогает также в виде пара, если его употреблять вместе с кедровым деревом, как курение». Далее Плиний упоминает, что евреи приготовляли из реальгара, гашеной извести и воды тесто, которым пользовались для удаления волос на бороде. Следует отметить, что ни Плиний, ни Диоскорид ничего не говорят о ядовитости этих соединений мышьяка. (Ср. Auspharmac. Vorzeit, II, 118).

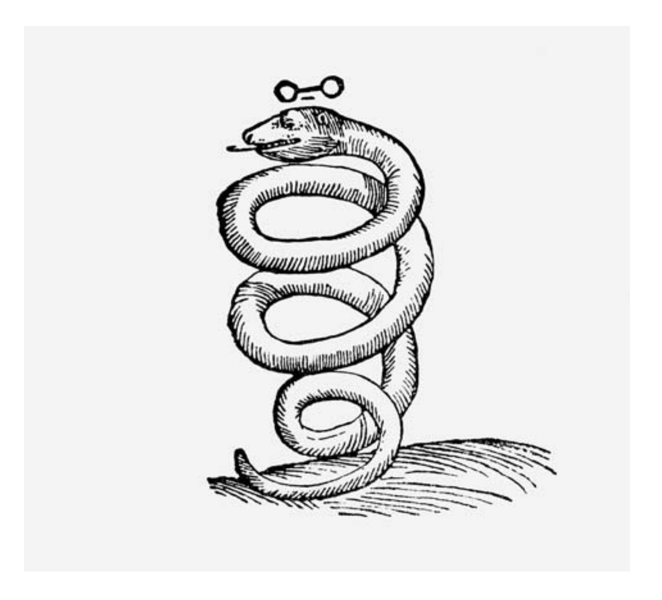


Эмблема сурьмы.

Сера, Sulfur. По сообщению Диоскорида, уже древние греки отличали самородную серу от выплавленной.

О первой — Sulfur vivum nativum — Плиний говорит, что «она выкапывается в готовом состоянии, прозрачна и окрашена в зеленый цвет» и что «только ее применяют врачи». Добывание же серы он описывает далее так: «Она возникает на находящихся между Сицилией и Италией Эоловых островах, которые горят, самая же лучшая сера находится на острове Мелос...

Она там выкапывается из шахт и очищается с помощью огня». На основании предыдущих



Эмблема мышьяка.

[1] В настоящее время название «Arsenicum» применяется к самому мышьяку. — *Прим. перев.*



Эмблема серы.

строк можно, следовательно, с полной уверенностью принимать, что древние добывали серу, очищая ее выплавкой от землистых веществ. Плиний указывает месторождения серы преимущественно в вулканических местностях. Ни в каком случае сера в то время не получалась из ее соединений. Как вытекает из вышеприведенных слов Плиния, сера применялась только во врачебном искусстве и именно с древних времен и до конца господства галено-арабской школы.

Купорос, Vitriolum, рудничная вода, сапожная чернь, рудничный цвет, колькотар, Chalcanthum, Atramentum sutorium[1]. Железный купорос уже до начала нашего летосчисления нашел себе место в арсенале медицинских средств. Плиний утверждает, что римляне называли железный купорос сапожной чернью (Atramentum sutorium), а греки — Chalcanthum. <...> Некоторые различают двоякого рода купорос, а именно природный и искусственный; последний бледнее, и чем хуже его цвет, тем меньше также его добротность. Для врачебного употребления всего более ценится кипрский купорос. (Ср. Плиний, Естеств. история, т.34, гл.32.)

[1] Еще в XIII ст. по Р.Х. медный купорос не отличали от железного. — *Прим. перев.*



Эмблема купороса.

Квасцы, Alumen. Это вещество упоминается у Геродота за 500 лет до Р.Х. под именем «στυπτηρια». Однако, очень сомнительно, умели ли древние получать искусственные квасцы из руд, так как и у Плиния, и у Диоскорида квасцы называются природным соляным соком земли. Квасцы в древности употреблялись не только во врачебном деле, но также применялись при выделке кож и при обработке шерсти.

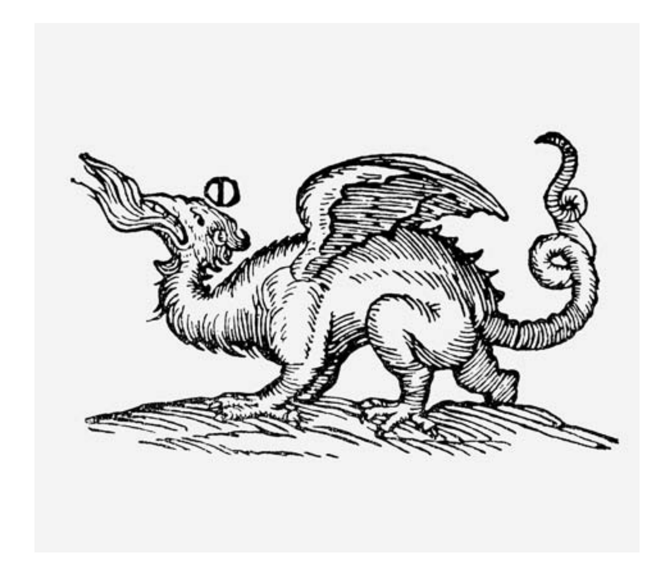
Селитра, Salpetrae. Вещество, бывшее хорошо известным под этим названием римлянам, совершенно не тождественно с нашей теперешней селитрой. Именно древние различали несколько сортов селитры, в числе которых тот или другой сорт соответствовал природной селитре. Об этой последней — Nitrium — Плиний говорит очень неясно; из его слов явствует только то, что она является более едкой, так как лужи, в которых в растворенном состоянии находится селитра, быстро разъедают башмаки.

Поваренная соль, Sal. Поваренная соль была известна людям уже в самые отдаленные эпохи; однако о способе ее добывания нас ставят в известность только некоторые писатели первого столетия нашего летосчисления. О многообразном применении поваренной соли Плиний говорит следующим образом: «Без соли на самом деле нельзя себе представить приятной жизни; соль является настолько необходимым началом, что понятие ее перенесли также и на духовные удовольствия; отсюда их и называют солями, и все приятности жизни, равно как и высшую степень радости и отдых от работ нельзя лучше обозначить никаким другим словом». По Плинию, остроумие и юмор образно обозначали выражением «аттическая соль», так как добывавшаяся в Аттике соль, кроме особой остроты, обладала еще и своеобразным горьким привкусом. Встречающаяся в природе в готовом виде поваренная соль применялась в древности также в качестве лечебного средства, в то время как соль, искусственно добытая из соляных рассолов, употреблялась на другие нужды повседневной жизни. По Геродоту, около храма Юпитера Аммона в Ливии из-под песка выкапывалась каменная соль — Sal ammoniacum древних, откуда и получилось название «песчаная соль», встречаемое у Плиния и Диоскорида, считающих ее за особую разновидность самородной соли.

Добывание соли в древности производилось самым простым способом: морскую воду или соляной рассол в соленых озерах оставляли испаряться за счет солнечной теплоты; далее Плиний сообщает, что в древности выливали соленую воду, чтобы испарить ее, на горящее дерево, так как применявшееся при этом дерево должно было иметь большое влияние на качества соли; это доказывается следующим местом из Естественной истории Плиния (т.31, гл.39): «Дубовое дерево считают самым лучшим, потому что чистая зола его уже сама по себе обладает силой соли; в других местах хвалят в этом отношении ореховое дерево, потому что даже его угли, если на них лить соляной рассол, превращаются в соль».

Мы остановимся еще немного на этих археолого-технических подробностях, чтобы познакомиться с различными приемами, возникновение которых кроется в отдаленнейшем прошлом и которые посредственно или непосредственно послужили основанием для позднейших исследований. Говоря это, мы имеем в виду приготовление стекла и обжигание глины, приготовление красок, мыла и лекарств.

Стеклоделие возникло в самой глубокой древности, и в Естественной истории Плиния (т.36, гл.65) мы находим следующие интересные строки относительно места изобретения стекла: «В смежной с Иудеей части Сирии, называемой Финикией, у подножия горы Karmelos находится болото, носящее название Kendebia. Из этого болота, как полагают, вытекает река Belos, которая на расстоянии 5000 римских шагов от него возле селения Ptolemais впадает в море. Она течет медленно и имеет нездоровую воду, мутна и обладает глубоким руслом. Только при отступлении моря от берегов эта река отлагает свой песок чистым, причем «он блестит, перекатываемый с места на место волнами и очищенный ими от всякой грязи. И этот песок получает свою силу только благодаря морю, а до этого он совершенно негоден к употреблению. Пространство на берегу, где происходят вышеописанные явления, тянется не более как на 500 римских шагов (2500 футов), и такое небольшое пространство доставляло в течение столетий достаточное количество материала для стекла. Существует предание, что некогда здесь пристал корабль, груженый селитрой, и что плывшие на нем люди, когда они, рассыпавшись по берегу, приготовляли себе пищу и не находили камней для того, чтобы подставить их под котлы, воспользовались для этой цели кусками селитры. Когда селитра нагрелась в соприкосновении с береговым песком, изпод котлов вытекли ручейки новой прозрачной жидкости, и таким образом было впервые получено стекло». Приводя это предание, Плиний добавляет, что заключающиеся в нем сведения не совсем надежны. Во всяком случае, еще задолго до этого древние египтяне умели приготовлять стекло; это видно из того, что на некоторых древних египетских памятниках, сохранившихся от 18-го столетия до Р.Х., имеются изображения людей, работающих со стеклодувной трубкой, и, более того, в нашем распоряжении имеются стеклянные сосуды, сделанные еще в 17-м веке до Р.Х. Древние народы при приготовлении стекла применяли соду или поташ; первую находили, как естественное произведение природы в македонских и египетских озерах, в то время как углекислый калий добывался выщелачиванием золы растений и, как сообщает Диоскорид, также обжиганием винного камня.



Эмблема квасцов.

Очень часто эти обе соли не отличали друг от друга, так как они обе обладают сходными свойст-



Эмблема соли.

вами; эти же соли широко применялись для приготовления мыла, мытья материи, очистки кож, в качестве зубного порошка и, наконец, как составная часть лекарств.

Гончарное искусство имеет одинаково древний возраст, как и приготовление стекла. Египтяне уже умели покрывать глиняные сосуды прозрачной глазурью. Китайцы и японцы, как мы знаем, еще в самые древние времена были знакомы с изготовлением тончайшего фарфора.

Большого совершенства достигла в древности та часть химической техники, которая имела своим предметом приготовление красок и красильное дело. Можно считать достоверным, что евреи, египтяне и персы знали искусство приготовления красок для окрашивания материй; об этом упоминается также и в Библии во многих местах (Моисей, кн.5). Как уже упоминалось выше, в качестве протравы в красильном деле древними употреблялись квасцы, в которые при добывании их из квасцового сланца попадал и железный купорос, они назывались «στυπτηρια» или «alumen»; под этими названиями понимали вообще вещества с вяжущими свойствами. По отношению к древнейшему периоду истории красильного дела мы, к сожалению, располагаем только предположениями; те скудные сведения, которые дошли до нас, по большей части неточны и остались без надлежащего объяснения.

Из красящих веществ в древности особенно славился пурпур, который финикияне получали из железистых выделений моллюсков, принадлежащих к семействам Muricidae и Purpuridae. Представление о пурпуре, как об очень ценном веществе, удерживалось на протяжении всех последующих эпох. Еще и теперь мы связываем с пурпуром понятие о царской одежде, и в католической церкви пурпур является цветом кардинальского одеяния. Мы считаем здесь также нужным отметить, что Плиний знает о применении марены и орсейли (гетульского пурпура) и подробно говорит о них в своей Естеств. истории. Индиго, по-видимому, употреблялось в то время больше для живописи, чем для окрашивания тканей; кроме того, в качестве живописных красок употреблялись минеральные вещества, в эпоху Плиния главным образом следующие: свинцовые белила, киноварь, сурик, ярь-медянка, окись железа; сажа, смешанная с камедью, применялась также в качестве чернил. Сернистый свинец, как видно из многочисленных новейших исследований, служил для приготовления пользовавшихся широкой распространенностью египетских румян «mesdem». «Mesdem» было также ценным лечебным средством.

Приготовление различных сортов мыла было также известно уже очень рано и производилось, по Плинию, в Германии и Галлии таким образом, что подвергали химическому взаимодействию жиры со щелоком и известью. Более того, тогда даже делали различие между твердыми и мягкими мылами, смотря по тому, сода или поташ применялись для омыления жиров.

Хотя мы уже упоминали о лекарствах, которые были известны древним, мы все-таки должны еще остановиться на некоторых органических веществах, бывших в употреблении в древней медицине. И здесь мы на первом плане должны поставить египтян, применявших при лечении болезней химические препараты; египтянами употреблялись, например, ярь-медянка, свинцовые белила, глет, квасцы, сода, селитра для приготовления мазей и других медикаментов. В эпоху Диоскорида греки из глета и масла приготовляли свинцовые пластыри. Интересно далее отметить, что сернистый газ, получающийся как продукт горения серы, применялся для окуривания, чистки материи, консервирования вина, разрушения красящих веществ (следовательно — для беления).

Из кислот вообще древние знали с очень давних пор уксусную кислоту и полагали, что она находится во всех растениях, обладающих кислым вкусом. О свойствах уксусной кислоты существовали самые фантастические представления; например, Ливий и Плутарх сообщали, что Ганнибал при своем переходе через Альпы с помощью уксуса устранял с пути скалы. Далее, Плиний рассказывает, что Клеопатра, желая затратить на один обед миллион сестерций (Sestertius nummus, также просто nummus — римская серебряная монета достоинством в $2\,^1/_2$ асса — $^1/_4$ динария = около 8 копеек), растворила в уксусе драгоценные жемчужины, чтобы затем выпить приготовленный таким образом напиток.

Животные жиры играли во врачебном искусстве большую роль. Плиний упоминает об употреблении шерстяного жира, того самого вещества, которое еще и теперь находится в продаже под названием ланолина. Далее, было известно приготовление крахмала из пшеницы, получение жирных масел из семян и плодов, терпентинного масла из сосновой смолы, добывание нефти; оливковое, миндальное, касторовое масла находили себе разнообразное применение; оливковым маслом, например, пользовались для извлечения эфирных масел из цветов и листьев.

Наконец, мы должны еще упомянуть, что античным народам были знакомы явления брожения и получающиеся из перебродивших сахаристых жидкостей напитки, хотя о сущности самого процесса брожения у них не составилось никакого представления.

Перев. с нем. С.Ч.

Широко простирает химия руки свои

Почти 100 лет назад А.Штанге кратко рассмотрел историю развития химических исследований буквально с самого зарождения химии. Правда, как таковая в рассматриваемые им времена она еще не оформилась, а, начавшись с алхимии, превратилась в подлинную науку в середине XVIII в. Через полвека химия уже представляла собой мощное здание с многочисленными побочными дисциплинами. Штанге рассказывает о семи металлах, известных с древности, теперь к ним можно отнести 98 элементов из 118, открытых к настоящему времени. Химия большинства из них интенсивно развивалась на протяжении всего 20-го столетия, особенно быстро — химия редких металлов. В 1970-х годах прогрессировала химия гидридов металлов и интерметаллических соединений. Без металлов не обошлось и величайшее открытие 1986 г. Й.Беднорц и К.Мюллер обнаружили, что барий-лантан-медный оксид при температуре 35 К обладает сверхпроводящими свойствами и уже в следующем году получили Нобелевскую премию (редчайший случай столь быстрого признания). И хотя это премия по физике, благодаря открытию лауреатов возникла новая область неорганической химии — химия высокотемпературных сверхпроводников.

Металлы, как теперь известно каждому, входят в состав не только всевозможных неорганических соединений и материалов, необходимых в самых разных производствах, но и органических тоже. К примеру, катализаторы органических реакций созданы на основе металлов, возникла даже отдельная ветвь — металлоорганическая химия. Важнейшую роль играют металлы в живой природе — достаточно вспомнить хотя бы гемовое железо в гемоглобине.

В связи с металлами уместно упомянуть удивительный процесс, открытый в 1967 г. А.Г.Мержановым, И.П.Боровинской и В.М.Шкиро, — твердопламенное горение, или самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС)*. Этим огненным методом из порошковых смесей двух металлов (или пары металл-неметалл, или двух неметаллов) получают всевозможные керамические материалы: жаростойкие и жаропрочные, сверхтвердые и износостойкие, сверхпроводящие, ферромагнитные, изоляционные и полупроводниковые. Производят и объемную «умную» керамику, причем запланированной формы. Проще говоря, непосредственно в процессе синтеза образуется готовое изделие. Пористая ЦТС-керамика (цирконат-титанат свинцовая) чрезвычайно интересна для гражданских и военных приложений. Ее используют в качестве пьезодетекторов в УЗИ-диагностике и гидролокации, создают разнообразные функциональные устройства, например микронасос для поддержания артериального давления при патологии сердечного клапана и протезные элементы (конечностей и суставов).■

По Штанге, уже в начале XX в. химия представляла собой здание с многочисленными побочными дисциплинами. Сегодня их число еще больше выросло, а фундамент здания укрепился новыми теориями и методами. Чего же достигла эта наука за XX в.? Об этом можно судить хотя бы по тем работам, которые удостоились высшей награды — Нобелевской премии**. Однако здесь невозможно охватить их все и тем более подробно — с формулами и схемами реакций (да простят за это химики, читающие «Природу»).

Важнейшая задача химии — выяснить природу химической связи, механизм реакций, чему и были посвящены физико-химические и квантовохимические работы, заслужившие Нобелевские премии. С.Н.Хиншелвуд и Н.Н.Семенов в 1920-х годах вывели теорию цепных и цепных разветвленных реакций (премия 1956 г.). В конце 20-х — начале 30-х годов Л.Полинг развил учение о природе химической связи (премия 1954 г.). Р.Малликен изобрел более точный, чем уже существовавший, метод описания электронной структуры молекулы и химических связей в ней — метод молекулярных орбиталей (премия 1966 г.). К.Фукуи и Р.Хоффман независимо друг от друга установили важную роль орбиталей в химических реакциях и описали закономерности, которые позволяют предсказывать, будет ли протекать реакция между органическими молекулами (премия 1981 г.). В 1964—1965 гг. У.Кон показал, что энергия квантовомеханической системы однозначно определяется ее электронной плотностью, а Дж.Попл предложил вычислительные методы квантовой химии (премия 1998 г.). Достижения Кона и Попла стали фунда-

* *Шишковский И.В., Кузнецов М.В., Морозов Ю.Г.* Твердое пламя и лазер: синтез объемной керамики // Природа. 2009. №12. С.44—52.

** Информацию о нобелевских лауреатах и их работах «Природа» ежегодно публикует с 1972 г.

ментальным вкладом в теорию взаимодействия атомов в молекулах. Все эти работы, научная значимость которых признана Нобелевским комитетом, свидетельствуют о выдающейся роли квантовой химии, поскольку она создает единую основу современных химических представлений.■

Химики никогда не переставали получать вещества и материалы, каких еще не знали предшественники, совершенствовать и разрабатывать способы анализа. В синтезе (речь пойдет только об органическом) появлялись методы, многое менявшие в этом, пожалуй, основном занятии химиков.

Еще в 1920-х годах О.Дильс и К.Альдер открыли диеновый синтез (и получили Нобелевскую премию в 1950 г.). Оказалось, диеновые углеводороды легко вступают в реакцию с диенофилами и в результате может образовываться огромное количество разнообразных соединений. Диеновый синтез открыл широчайшие возможности для органической химии и заложил основы химии полимеров. Этим способом химики-органики начали получать витамины, гормоны, стероиды. Реакция Дильса—Альдера стала использоваться в промышленном производстве фармацевтических препаратов, красителей, смазочных масел, инсектицидов, синтетических каучуков и пластмасс, выросло производство полиэтилена.■

В начале 1950-х годов органическая химия обогатилась новым типом катализаторов — металлоорганических. Их открыли Дж.Натта и К.Циглер (премия 1963 г.) и использовали для полимеразации этилена и пропилена. Эти катализаторы (их назвали именами открывателей) позволяли контролировать пространственную ориентацию мономеров в полимерной молекуле, а образующийся полимерный материал можно было штамповать, вырабатывать из него нити, прочные, как нейлон, легкие и прозрачные, как целлофан. Реакции полимеризации с металлоорганическими катализаторами проложили путь новым, чрезвычайно плодотворным производственным процессам.■

После изобретения нейлона, химики устремились к синтезу новых полимеров, руководствуясь принципом молекулярно-структурного регулирования их свойств. Задавая структуру исходных мономеров и их пространственное расположение, исследователи вплотную подошли к созданию волокон с заданными свойствами. Усилия направлялись на разработку «суперволокна», которое обладало бы высокими теплостойкостью и твердостью. Подходили для этого ароматические полиамиды (полиарамиды) с их плоскими ароматическими кольцами, что способствовало бы жесткости полимерных цепей, и большим отношением углерод/водород, которое обеспечило бы высокую огнестойкость. Сотрудникам фирмы «DuPont» удалось синтезировать полимер и получить легкий, очень прочный и гибкий негорючий материал — кевлар. В 1975 г. он «вышел» на рынок и с тех пор применяется почти везде: в самолетостроении; вместо стального корда в автомобильных шинах; для изготовления пуленепробиваемых жилетов и курток, огнеупорной одежды. Из кевлара делают детали космических кораблей, тросы, кузова автомобилей и катеров, паруса, лыжи и теннисные ракетки.■

К крупной победе химиков относится открытие электропроводящих полимеров (премия 2000 г.). В 1970-х годах А.Хигер, А.Мак-Диармид и Х.Сиракава показали, что модифицированный галогенами полиацетилен может проводить ток почти как металл. Это открытие оказало исключительное влияние на науку о полимерах, положило начало исследованиям «синтетических металлов» и послужило основой для получения целого ряда новых материалов. Проводящие полимерные материалы стали применяться в качестве ингибиторов коррозии, антистатических покрытий, защитных экранов от электромагнитного излучения, а также служить для создания источников тока и оптических окон с регулируемой областью прозрачности. Представляется, что у таких материалов прекрасное будущее.■

В 1965 г. Нобелевский комитет присудил премию Р.Вудворду «за вклад в искусство органического синтеза». Его метод был поистине изящным: начав с простой молекулы, Вудворд добавлял или устранял атомы углерода и так формировал основу продукта. Затем «пришивал» боковые группы, чтобы завершить структуру запланированного соединения. В синтезе хинина, например, Вудворд создал углеродную структуру за 17 превращений, а затем, воспроизводя природные свойства хинина, провел еще много реакций. Вудворд также синтезировал хлорофилл, ланостерин, резерпин, колхицин и витамин B_{12}.■

Фактически противоположный способ предложил в 1960-х годах Э.Кори (премия 1990 г.). Он создал теорию и методологию органического синтеза и использовал компьютер для его планирования. Вплоть до середины XX в. синтетический процесс начинался с выбора подходящих реагентов и реакции для получения желаемого продукта. У Кори родилась иная идея: целевую структуру подвергнуть деконструкции, превратив таким образом в более простые молекулы предшественников, и с каждым из них поступать точно так же, пока не получатся простые или коммерчески доступные реагенты.

Результатом такого анализа, обратного синтезу, было разветвленное дерево возможных

промежуточных продуктов. Основные идеи этого анализа Кори использовал для создания компьютерной программы, по которой строились возможные пути синтеза. К победам Кори относятся: получение простагландинов, тромбоксанов и лейкотриенов, целого ряда полициклических изопреноидов. Сегодня синтез сложных природных соединений, видимо, не проводится без компьютерных программ.■

Работы нобелевского ранга были выполнены Э.Фишером и Дж.Уилкинсоном в области металлоорганических соединений, названных сэндвичевыми (премия 1973 г.). В начале 1950-х годов лауреаты расшифровали структуру ферроцена как два пятичленных кольца, между которыми находится атом железа, связанный с каждым атомом углерода обоих колец. Такая слоистая структура напоминала сэндвич, откуда и пошло название подобных соединений. Позже были синтезированы сэндвичевые производные с хромом, ванадием, молибденом, вольфрамом и другими металлами. Результаты, полученные лауреатами, послужили толчком к созданию современной металлоорганической химии переходных элементов. Эта область с той поры бурно развивается; металлоорганические соединения служат катализаторами в таких реакциях, которые казались неосуществимыми, а теперь уже применяются в некоторых производствах. От металлокомплексных катализаторов тянется цепочка еще к одной чрезвычайно важной работе — хиральному катализу. Но о нем позже.■

Начало изобретения Г.Брауном и Г.Виттигом новых методов органического синтеза сложных бор- и фосфорсодержащих соединений (премия 1979 г.) относится ко второй половине 1940-х годов. Браун и известный химик Х.И.Шлезингер, работавшие с дибораном, способ получения которого был сложным и занимал много времени, нашли недорогой и быстрый путь синтеза этого соединения — с использованием гидрида лития или натрия, а позднее боргидрида натрия. Эти реакции оказали огромное влияние на органическую химию, коренным образом преобразовали методы восстановления — одного из двух главных химических процессов, открыли новые пути синтеза. Позже Браун получил новые боргидриды и металлгидриды, обеспечившие химиков-органиков полным набором восстановителей, пригодных для самого широкого применения. В 1955 г. Браун обнаружил, что при гидроборировании непредельных углеводородов образуются органобораны, которые вступают в ряд дальнейших реакций. Реакция гидроборирования стала использоваться для превращения олефинов в спирты или насыщенные соединения, открыла возможность получения высокочистых продуктов, а также соединений с редким внутримолекулярным строением. Органобораны со временем превратились в одну из самых универсальных групп химических промежуточных веществ в органическом синтезе, нашли применение в производстве. Работы Брауна повлияли и на развитие элементоорганической химии.

Методы синтеза фосфорорганических соединений, сложных и часто необычных, связаны с именем Виттига. В 1945 г. он получил соединение, ставшее первым из класса илидов, биполярных ионов с положительно заряженным ониевым атомом (азота, фосфора и т. д.), которые ковалентно связаны с отрицательно заряженным атомом углерода. В 1954 г. Виттиг открыл реакцию (она носит его имя), в которой образовывались олефины при действии илидов фосфора на карбонильные соединения — альдегиды и кетоны. Через четыре года осуществил многостадийный синтез фенантренов. Реакция Виттига стала одной из основных в органическом синтезе, оказалась бесценной для получения сложных фармацевтических препаратов, например стероидов, феромонов, витамина A, производных витамина D.

Нелишне добавить, что из «рук» Брауна вышли два лауреата прошлогодней премии, а именно Э.Негиши и А.Сузуки. Об их и третьего лауреата — Р.Хека — работах рассказывать нет необходимости, им посвящена отдельная статья в этом номере (с.60—63).■

По сути новую и необычайно плодотворную область науки, которая развивается на стыке органической, неорганической и биологической химии, открыли Ч.Педерсен, Д.Крам и Ж.-М.Лен (премия 1987 г.). В 1960-х годах Педерсен синтезировал соединение, названное краун-эфиром (crown — корона) за его структуру: кольцо из углеродных атомов, связанных кислородными мостиками, пустое внутри и подвижное. Затем он установил, что эти пустотелые соединения могут самопроизвольно захватывать в свою полость катионы щелочных и щелочноземельных металлов, не связывая их ковалентно. На основе этого Крам разработал концепцию «гость–хозяин», а Лен в 1978 г. расширил ее и ввел понятие «супрамолекулярная химия». По Лену, это химия за пределами молекулы, изучающая структуру и функции ассоциаций двух или более частиц, удерживаемых вместе только межмолекулярными силами. Супрамолекулы образуются за счет самосборки и самоорганизации как минимум двух компонентов.

Результатом параллельных усилий трех исследователей был синтез молекул, которые реагируют с другими молекулами подобно природным ферментам. Сегодня в мире супрамолекулярной химии существуют не только краун-эфиры, но и кавитан-

ды, криптанды, каликсарены, ротаксаны, катенаны и др. Ее методы применяются в химическом анализе, медицине, катализе, фотохимии. На супрамолекулярных структурах основаны, например, экстракция биологически активных веществ, создание нанокатализаторов, фото- и хемосенсоров, молекулярных электронных устройств, синтез материалов для нелинейной оптики, моделирование сложных биологических процессов. Соединения, способные образовывать комплексы типа «гость–хозяин» с органическими молекулами, нужны для разделения и очистки органических веществ, их активации, для создания лекарственных препаратов нового поколения и решения множества других научных и прикладных задач.■

Органические интермедиаты высокой реакционной способности с положительным зарядом на углероде и очень коротким временем жизни — это карбокатионы. Их существование было предсказано еще в 1920—1930-х годах, а открыл и изучил свойства Дж.Ола (премия 1994 г.). Этим он оказал огромное влияние на развитие органической химии. Он получал карбокатионы действием суперкислот на спирты и олефины и доказал, что суперкислоты протонируют даже предельные углеводороды. Появилась возможность проводить огромное число новых органических реакций, осуществлять расщепление фракции тяжелой нефти и получать из угля жидкое топливо. Ола внес вклад в исследования механизмов реакций алкилирования и нитрования, чрезвычайно важных для химической индустрии.■

Фуллерены сейчас привлекают исследователей из самых разных областей. Первый фуллерен — сферическая молекула из 60 атомов углерода (C_{60}) — был открыт Р.Кёрлом, Г.Крото и Р.Смолли (премия 1996 г.). Теперь это громадное семейство новых и необычных соединений, которые химики научились не только синтезировать, но и модифицировать, присоединяя органические фрагменты. Сейчас синтезированы и другие, более крупные фуллерены, а применяться могут эти легкие полые «шарики» в оптике, электронике, материаловедении и т.д., и т.д. Исследователи работают также над комбинированием фуллеренов с лекарственными препаратами, чтобы те достигали мест назначения, пытаются использовать их для искусственного фотосинтеза*.■

Во всех химических реакциях реагенты превращаются в продукты через промежуточный активированный комплекс (его образование называют элементарной реакцией), в котором связи ослаблены (а некоторые могут быть усилены) по сравнению с исходными соединениями. Существование такого комплекса измеряется фемтосекундами, и чтобы проследить динамику его образования и распада, нужно специальное устройство. Такие невероятно быстрые переходные состояния реакций изучил А.Зевейл с помощью фемтосекундной спектроскопии (премия 1999 г.). Вместе со своими сотрудниками он разработал методы временно́го анализа элементарных реакций с помощью лазерных импульсов фемтосекундной длительности. Главный результат работ Зевейла — возможность следить за протеканием элементарных реакций в реальном масштабе времени. Фемтосекундная спектроскопия обеспечила возможность получить картину движения атомов в ходе химического превращения. По сути, была создана фемтохимия, приведшая к настоящему взрыву исследований динамики разного типа реакций. Фемтосекундные методы уже применяют для наблюдения за химическими реакциями в полимерах (это очень важно при создании новых материалов для микроэлектроники), пытаются изучать механизмы действия биологически активных молекул, например родопсина — пигмента, ответственного за восприятие света глазом.■

* *Еремин В.В.* Искусственный фотосинтез — путь к «чистой» энергии // Природа. 2010. №4. С.22—28.

В новом тысячелетии в число нобелевских работ вошел хиральный катализ. Премии в 2001 г. были удостоены У.Ноулс, Р.Нойори и Б.Шарплесс, открывшие метод, который позволяет синтезировать из оптически неактивного реагента единственный оптический изомер (энантиомер) продукта, а не рацемическую смесь изомеров. Ноулс первым понял, что это можно сделать с помощью хирального (оптически чистого) катализатора и создал в 1968 г. родиево-фосфиновый комплекс, способный «вести» реакцию восстановления (гидрирования). Идеи Ноулса развил Нойори, и в 1978 г. для реакций гидрирования его группа сконструировала другой, рутениевый, хиральный катализатор с более широким спектром активности, чем родиевый. Шарплесс применил идеи хирального синтеза для реакций окисления органических соединений. Его катализатор — это комплекс, содержащий титан в качестве переходного металла и оптический изомер диэтилового эфира винной кислоты в качестве лиганда. В 1980 г. Шарплесс осуществил каталитическое асимметричное окисление спиртов с аллильной группировкой в эпоксиды. Поскольку при окислении увеличивается количество функциональных групп, появились новые возможности для синтеза многих соединений.

Хиральный катализ — яркий пример соединения двух ветвей химии: неорганической и органической. Он чрезвычайно важен для индустриального синтеза лекарственных препаратов, феромонов, пестицидов, витаминов, пищевых добавок (например, подсластителей), так как природе свойственна стро-

гая избирательность в отношении оптических антиподов. Такой катализ может быть применен не только в разных областях химии (стереохимии, неорганической химии, органической, физико-химии), но и в материаловедении.

Многие ученые оценивают работу Шарплесса как самое важное открытие в области синтеза в течение нескольких последних десятилетий.■

Реакция метатезиса (называемая еще диспропорционированием, а по-русски — реакцией обмена), открытая И.Шовеном, Р.Граббсом и Р.Шроком (премия 2005 г.) стала для химиков методом с широчайшими возможностями в органическом синтезе. Такую реакцию наблюдали в 1950-х годах при проведении некоторых промышленных процессов. Ее истинный механизм в 1971 г. предложил Шовен и затем подтвердил экспериментально. Его работа указала направление дальнейших исследований — поиск эффективных катализаторов, и в этом преуспели Шрок и Граббс. Катализаторы Шрока были необычайно активными, с их помощью ему удалось осуществить даже новый тип полимеризационного процесса. Однако катализаторы Шрока были очень чувствительны к окислению и влаге. Этого недостатка лишены катализаторы Граббса. По активности они уступают шроковским, но зато некоторые могут работать в водных средах, что делает их особо привлекательными для промышленной химии. Одному из катализаторов Граббса компания «Fluka», производящая химические реактивы, в 1998 г. присудила почетное звание «реагент года».

Большинство реакций метатезиса проходит в одну стадию и без образования побочных продуктов, а следовательно, позволяет создавать экологически безопасные производства. Метатезис открыл возможность синтеза новых лекарственных препаратов, пестицидов, органических реактивов и полимеров со специфическими свойствами.■

Конечно же, среди химических достижений нельзя не упомянуть нанохимию — бурно развивающуюся область знаний (правда, еще оставшуюся без нобелевских лауреатов). В первой половине XX в. наибольший вклад в нее внесли специалисты, изучавшие коллоиды, а затем эту науку обогатили ученые, исследовавшие полимеры, белки, другие природные соединения, фуллерены и нанотрубки. Одна из главных задач нанохимии — установить зависимость свойств наночастицы от ее размера и количества атомов или молекул в ней. Роль размерных эффектов настолько велика, что некоторые специалисты пытаются создать таблицы таких зависимостей, подобные периодической таблице Д.И.Менделеева. На наноуровне нет новых законов природы, а есть лишь необычное сочетание размерных, поверхностных, квантовых и других эффектов, уже известных науке. Главная задача нанотехнологии — правильно использовать эти эффекты.

В промышленности наночастицы уже получают, причем разными способами: биохимическим, радиационно-химическим, фотохимическим, электровзрывным, микроэмульсионным, детонационным и др. Много внимания отдается получению и химическим превращениям атомов, кластеров и наночастиц металлов. Нанохимией, несмотря фрагментарность знаний о наносистемах, решается множество прикладных задач. К их числу относится одна из важнейших — создание теоретических моделей поведения наносистем при синтезе наноматериалов и поиск оптимальных условий их получения.

У нанохимии много исследовательских направлений — уже довольно хорошо развитых и тех, к которым специалисты только приближаются. По всем признакам, это одна из важнейших областей науки 21-го столетия.■

Краткая справка о работах нобелевского ранга и некоторых других исследованиях дает весьма неполное представление о достижениях в химии за прошедший век — их не перечесть. Современная химия составляет основу множества технологий, им обязано экономическое благосостояние развитых стран. Каждый человек так или иначе ежедневно пользуется плодами химии. Недаром еще великий М.В.Ломоносов говорил: «Широко простирает химия руки свои в дела человеческие».■

Л.П.Белянова,
кандидат химических наук,
Москва

Новости науки

Астрономия

Экзопланета, похожая на Землю

В первые дни октября 2010 г. всеобщее внимание привлекло сообщение об открытии экзопланеты Gl 581g — шестой планеты в системе звезды Глизе 581 (Gliese 581). Авторы открытия — группа американских астрономов под руководством профессора Калифорнийского университета в Санта-Круз С.Фогта (S.Vogt) и профессора П.Батлера (P.Butler) из Института Карнеги в Вашингтоне — утверждают, что Gl 581g более всех остальных экзопланет похожа на Землю.

Напомню, что *экзопланеты* находятся за пределами Солнечной системы и потому иначе называются *внесолнечными планетами*. Впервые их обнаружили в 1990-е годы косвенным образом — по слабому «покачиванию» звезд, вокруг которых они обращаются. К осени 2010 г. планетные системы были зарегистрированы у 420 звезд, в основном близких к Солнцу, а также у двух радиопульсаров. Всего в этих системах найдены признаки существования около 500 планет, причем около 50 систем определенно содержат более одной планеты. Большая часть этих открытий сделана косвенно — по наблюдениям родительской звезды экзопланетной системы. Однако уже получены прямые оптические изображения 13 экзопланет, и в ближайшее время станет возможной регистрация их спектров, что позволит определить состав атмосферы и поверхности этих внесолнечных объектов.

Понятно, насколько большой интерес вызывают экзопланеты не только у астрономов, но и у экзобиологов, которые надеются в недалеком будущем начать спектральный поиск наличия у них признаков биосферы. Самыми надежными биомаркерами считаются спектральные линии кислорода (в форме озона), паров воды и метана. В первую очередь такому исследованию будут подвергнуты планеты наиболее близких звезд. Ближайшая экзопланета обнаружена у звезды ε Эридана, на расстоянии 10 св. лет от Солнца. Но она лишь немногим меньше Юпитера и обращается на расстоянии 3.3 а.е. от звезды, чуть менее массивной и менее горячей, чем наше Солнце. Иными словами, эта планета и ее возможные спутники находятся вне «зоны жизни», т.е. той области расстояний от звезды, где на поверхности планеты возможно существование жидкой воды. А Глизе 581g привлекла внимание именно тем, что условия на ее поверхности должны быть весьма схожи с земными.

Центральная звезда этой системы — красный карлик спектрального класса M3, втрое уступающий Солнцу по массе и размеру и почти в 100 раз — по светимости. Эта звезда удалена от нас на 20 св. лет и вполне доступна для наблюдения даже в бинокль. С открытием шестой планеты система звезды Gl 581 стала чемпионом по количеству планет. До сих пор самой населенной считалась система звезды HD 10180, вокруг которой обращаются как минимум пять планет, а существование еще двух предстоит доказать. Шесть надежно обнаруженных планет звезды Gl 581 делают ее похожей на Солнечную систему, содержащую, как известно, восемь планет.

По-видимому, система Gl 581 лишена газовых гигантов калибра Юпитера и Сатурна: массы обнаруженных у нее планет заключены в диапазоне от 2 до 16 масс Земли, а их орбиты близки к круговым. Самое же интересное состоит в том, что планета Gl 581g, имеющая массу около трех земных, расположена в «зоне жизни»: средняя температура на ее поверхности, согласно расчетам, близка к 0°C. У планеты должна быть твердая поверхность, а ее год — около 37 земных суток. Учитывая, что атмосферное давление там может быть близко к земному, астрономы заключили, что на ее поверхности возможно наличие жидкой воды.

Любопытно, что еще несколько лет назад эта планетная система привлекла к себе внимание энтузиастов поиска внеземных цивилизаций. Учитывая ее схожесть с Солнечной системой и сравнительную близость к нам, в 2008 г. по направлению к ней с помощью 70-метрового евпаторийского радиотелескопа было отправлено послание.

© Сурдин В.Г.,
кандидат физико-математических наук
Москва

Планетология

Столкновение астероидов привело к появлению ложной кометы

Обычно об открытии новой кометы свидетельствует обнаружение туманного объекта с заметным собственным движением. Именно поэтому объект, обнаруженный 6 января 2010 г. с помощью метрового телескопа американского проекта LINEAR (Lincoln Laboratory Near-Earth Asteroid Research — исследование астероидов, сближающихся с Землей, в Лаборатории Линкольна), получил поначалу кометное обозначение P/2010 A2

(периодическая комета, открытая в 2010 г.). Анализ орбиты показал, однако, что она мало похожа на орбиты других комет — вытянутые и зачастую сильно наклоненные к плоскости эклиптики. Оказалось, что объект P/2010 A2 обращается вокруг Солнца почти по круговой орбите в Главном поясе астероидов. До сих пор тел с признаками кометной активности там было известно всего четыре, поэтому новый представитель этого семейства сразу же привлек к себе внимание. Интересно и то, что объект P/2010 A2 в отличие от остальных четырех комет Главного пояса находится во внутренней его части, там, где любой лед давно уже должен был бы испариться с поверхности этого тела.

Уже 11 января 2010 г. Д.Джуитт (D. Jewitt; Калифорнийский университет, США) и его коллеги пронаблюдали загадочный объект на 3.5-метровом телескопе WYIN (телескоп, созданный консорциумом организаций: University of Wisconsin, Indiana University, Yale University, National Optical Astronomy Observatory) и выяснили, что сомнения в его заурядности вполне обоснованы. На снимках было видно, что хвост «кометы» начинается не в ядре, а чуть в стороне. Затем к исследованию подключили космический телескоп «Hubble», который наблюдал этот объект на протяжении нескольких месяцев — с января по май 2010 г. Благодаря высокому разрешению аппарата удалось детально изучить структуру P/2010 A2 и убедиться, что она действительно отличается от обычной кометной морфологии. В головной части P/2010 A2 находятся два перекрещивающихся пылевых волокна, причем ядро «кометы» локализовано на конце одного из них. От головной структуры отходит пылевой хвост, тоже состоящий из двух волокон, идущих почти параллельно друг другу.

На протяжении нескольких месяцев наблюдений волокна заметно сместились, что говорит об эволюции пылевой оболочки вокруг P/2010 A2. Какова же причина этой эволюции? Вначале предположили, что вещество вокруг «кометы» не испарилось с ее поверхности, а было выброшено в результате столкновения с другим небесным телом. Прояснить происхождение комы помогли наблюдения с еще одного космического аппарата — межпланетного зонда «Rosetta» (ESA), который находится сейчас вблизи Главного пояса астероидов. Измерение параметров этой комы с разных позиций позволило определить характер движения пылинок в ней и установить, что пылевые волокна P/2010 A2 возникли из-за столкновения, которое случилось в феврале 2009 г., т.е. менее чем за год до открытия «кометы».

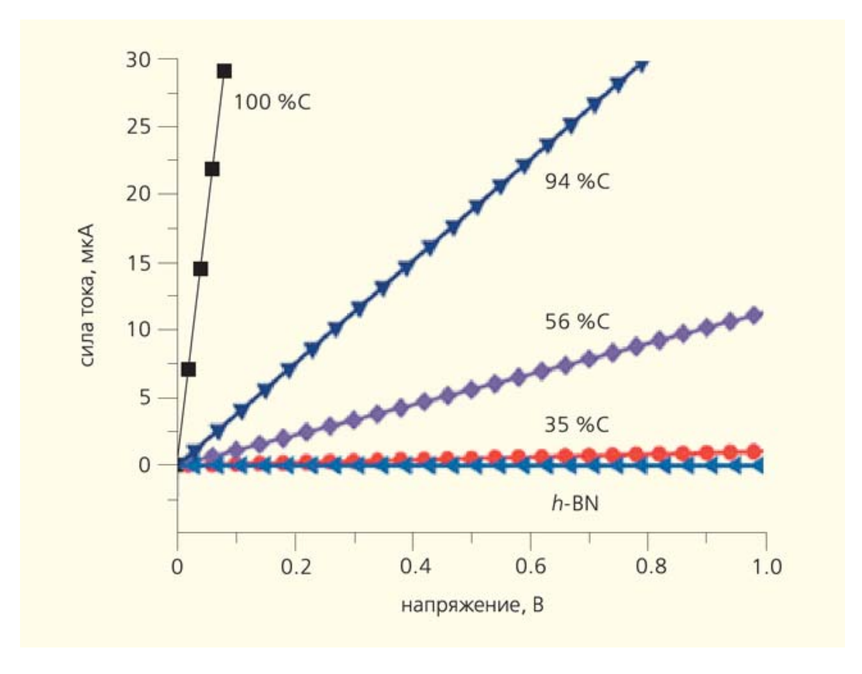
Интересно, что активность других комет Главного пояса тоже связывают с подобными инцидентами. По сути, эти кометы во всех прочих отношениях могут быть обычными астероидами, у которых в результате столкновения обнажились ледяные слои. Испарение льда временно придало таким астероидам кометный вид. В случае P/2010 A2 ситуация более экстремальная — столкновение частично разрушило этот объект, благодаря чему он смог и без испарения обзавестись хвостом. Впрочем, разрушение не было катастрофическим. Анализ параметров хвоста показал, что он состоит из относительно крупных частиц, от 1 мм до 1 см; отсутствие же пылинок субмиллиметровых размеров говорит о том, что удар был не слишком сильным.

Nature. 2010. V.467. №7317. P.814 (Великобритания).

Физика

BNC-наноструктуры

Сравнительно недавно семейство углеродных наноматериалов — нульмерных фуллеренов и одномерных нанотрубок — пополнилось еще одним, на этот раз двумерным, графеном. Два соседа углерода по таблице Менделеева (бор и азот), чередуясь, тоже могут образовывать атомные монослои *h*-BN с такой же, как у графена, структурой. Но в отличие от бесщелевого полупроводника графена, гексагональный нитрид бора представляет собой диэлектрик с большой шириной запрещенной зоны (E_g = 5.9 эВ). Поскольку длина ковалентных связей C–C в графене и B–N в *h*-BN очень близки, естественно возникает идея попы-



Вольт-амперные характеристики пленок h-BNC с разным содержанием углерода при комнатной температуре.

таться изготовить гексагональные слои *h*-BNC с разными концентрациями составляющих их атомов и, соответственно, с разными диэлектрическими свойствами.

Для решения этой задачи интернациональная группа исследователей использовала метод каталитического химического осаждения паров метана CH_4 и борана аммиака NH_3BH_3 на медные подложки[1]. При таком выборе предшественников соотношение B:N всегда равно 1:1, а относительное содержание углерода может изменяться в самых широких пределах. Просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения показала, что пленки, как правило, состоят из двух или трех слоев *h*-BNC, каждый из которых содержит хаотически распределенные области *h*-BN и графена. Наличие в пленках ковалентных связей C–B и C–N (наряду с преобладающими связями C–C и B–N) подтверждается данными рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. С ростом концентрации углерода проводимость пленок *h*-BNC увеличивается, а диэлектрическая щель уменьшается (в частности, при 56%-м содержании углерода E_g = 18 мэВ). Такие пленки могут найти применение в электронике и оптике; они представляют интерес также для фундаментальных исследований (например, с их помощью можно изучать эволюцию поведения носителей тока от слабого рассеяния до андерсоновской локализации при увеличении концентрации доменов *h*-BN).

http://perst.issp.ras.ru (2009. T.17. Вып.9).

[1] *Ci L. et al.* // Nature Mater. 2010. V.9. P.430—435.

История науки. Физика

Тридцать пять атомов, которые изменили мир

20 лет назад два сотрудника IBM с помощью сканирующего туннельного микроскопа сложили из отдельных атомов название своей фирмы, убедительно продемонстрировав тем самым принципиальную возможность контроля вещества на атомном уровне[2]. Фактически тогда был дан старт эре нанотехнологий. И пусть укладка атома к атому — пока еще очень сложная, «штучная» работа, требующая обязательного участия человека; пусть сильно девальвировано само понятие «нанотехнология», которым в угоду свалившемуся на них многомиллиардному финансированию стали называть практически все, к чему можно хоть как-то приклеить ставшую модной приставку «нано» — от коллоидных растворов субмикронных частиц (не 0.1 мкм, а 100 нм!) до материалов с примесью углеродной сажи (в ней же нанотрубки!). Пусть. Но поатомное конструирование новых материалов даже в лабораторных условиях и в сверхмизерных количествах — все равно величайшее достижение науки. И, возможно, уже в скором будущем появятся нанофабрики, на которых с программируемых СТМ-конвейеров будет нескончаемым потоком сходить нанопродукция, за которой останется только прийти в магазин...

http://perst.issp.ras.ru (2009. T.17. Вып.9).

[2] *Toumey C.* // Nature Nanotechn. 2010. V.5. P.239.

Генетика

Расшифрован самый маленький геном

Геном микроспоридии *Encephalitozoon cuniculi* крайне редуцирован и очень компактен. При длине всего 2.9 млн пар оснований он содержит около 2000 плотно упакованных генов и почти ничего другого. Однако ядерный геном близкородственного вида *En.intestinalis* редуцирован еще сильнее: в нем всего 2.3 млн пар оснований, т.е. он на 20% короче генома *En.cuniculi*. Это вызывает вопросы: что еще может быть потеряно в ходе редукции генома внутриклеточного паразита и что должен представлять собой минимальный эукариотический геном?

В работе международной группы генетиков под руководством Н.Корради (N.Corradi, Университет Британской Колумбии, Канада) приводятся результаты расшифровки полного генома *En.intestinalis* и его сравнения с геномом *En.cuniculi*. У обоих видов оказались одинаковыми генный состав, порядок расположения генов и их плотность. Исключение составляют субтеломерные участки, в которых у *En.intestinalis* отсутствуют крупные блоки генов, имеющихся у *En.cuniculi*.

В центральных участках хромосом, где плотность генов высока, короткие межгенные последовательности и интроны фактически оказались даже более консервативными, чем сами гены. Это указывает на достижение такими некодирующими последовательностями предела редукции, при которой геном еще может функционировать.

Nature Commun. 1:77 doi: 10.1038/ncomms1082 (2010).

Зоология

Аллигатор, унесенный ураганом

13 сентября 2008 г. у побережья штатов Луизиана и Техас пронесся ураган Айк. Через две недели после этого один из посетителей заповедного участка на побережье о.Падре (Техас) заметил в груде всякой всячины, выброшенной штормом на берег, детеныша аллигатора (*Alligator mississippiensis)*. Молодой аллигатор — с впалыми глазами и выпирающими ребрами — явно пострадал от сильнейшего обезвоживания и истощения. Однако он был жив и даже агрессивно кидался на обнаруживших его людей[3]. Замечательно, что он оказался помеченным. Благодаря метке установили, что малыш был выпущен за шесть недель до урагана, разразившегося в штате Луизиана, на расстоянии... 489 км от места, где его обнаружили!

Этот случай ярко иллюстрирует два существенных обстоятельства, важных для понимания биологии аллигатора. Во-первых, оказалось, что выносливость аллигаторов, в частности к морской воде, очевидно выше, чем предполагали зо-

[3] Southeastern Naturalist. 2009. B.8. №4. P.746—749.

логи. В естественных условиях эти рептилии водятся в пресноводных и слабосоленых водах, но избегают морской воды, так как пребывание в ней вызывает физиологический стресс. Случаи встреч аллигаторов в открытом море редки, а максимальное расстояние от берега, на котором до сих пор появлялись эти хищники, составляет 63 км. Унесенный штормом детеныш преодолел по морю расстояние, почти в восемь раз превышающее этот рекорд. Во-вторых, проиллюстрирован возможный весьма экстремальный способ расселения таких крупных животных. Вполне допустимо, что ураганы способствовали формированию современных ареалов даже таких гигантов, как миссисипский аллигатор.

© Д.В.Семенов,
кандидат биологических наук
Москва

Ихтиология

Большая белая акула у берегов Сахалина

У берегов Сахалина постоянно встречаются три вида акул — колючая, или катран (*Squalus acanthias*), и тихоокеанские сельдевая (*Lamna ditropis*) и полярная (*Somniosus pacificus*). В июле 2007 г. у северо-западного побережья залива Анива (46°30′ с.ш.) была поймана необычно крупная акула, которую ихтиологи Сахалинского НИИ рыбного хозяйства и океанографии определили как большую белую, или кархародона (*Carcharodon carcharias*). Длина рыбы — 504 см, масса — около 1100 кг. Достоверных встреч белой акулы у берегов Сахалина ранее не было известно, однако в июле 2007 г. здесь отмечены еще несколько крупных акул, похожих на белых.

Кархародоны встречаются в тропических, субтропических и умеренных широтах при температуре воды 11—24°С. В Дальневосточном регионе самая северная точка обнаружения *C.carcharias* — юго-западное побережье о.Хоккайдо (43°23′ с.ш.). Специалисты Корейского государственного рыбопромышленного научно-исследовательского института связывают проникновение больших белых акул на север региона с повышением среднегодовой температуры морей. Предполагается, что *C.carcharias* способна мигрировать вдоль западного побережья Сахалина на север вплоть до 49-й параллели. Здесь, между 46° и 49° с.ш., проходит теплое Цусимское течение, благодаря которому температура поверхностных вод может достигать 18—20°С.

Поимка белой акулы в заливе Анива — не только первый достоверный случай обнаружения *C.carcharias* в восточных морях России, но и свидетельство более северного ее обитания у азиатского побережья, чем считали ранее.

Вопросы ихтиологии. 2010. Т.50. №3. С.417—421 (Россия).

Экология

Биоразнообразие ящериц и климат

Международная группа герпетологов во главе с Б. Синерво (B.Sinervo; Калифорнийский университет, Санта-Крус, США) разработала модель, предсказывающую судьбу отдельных популяций и видов ящериц в условиях глобального потепления климата. В основу модели были положены тренд максимальной температуры воздуха за последние 35 лет, термофизиологические характеристики конкретных видов ящериц и ограничение времени активности, накладываемое риском гипертермии. В Мексике исследователи нашли связь между степенью изменения погоды в сезон размножения ящериц и элиминацией отдельных обитающих здесь популяций колючих игуан (род *Sceloporus*). Установлено, что за последние 35 лет прекратили существовать около 12% из 200 изученных ранее популяций различных видов. Риск исчезновения живородящих видов вдвое превышает таковой у яйцекладущих, поскольку повышение внешней температуры угрожает внутриутробному развитию эмбрионов. В горных районах изменение климата приводит к тому, что широко распространенные виды вселяются в области обитания высокогорных эндемиков, которые не выдерживают конкуренции.

В Южной Америке, Африке, Европе и Австралии исследована судьба популяций 34 семейств ящериц. В этих регионах предложенная модель достаточно точно предсказывает места исчезновения популяций в различных природных зонах. С 1975 г. до настоящего времени уже перестали существовать 4% локальных популяций ящериц на четырех континентах. Исследователи прогнозируют, что к 2050 г. эта участь постигнет 6% видов мировой фауны ящериц, а к 2080 г. — 20% видов и 39% локальных популяций.

Предполагается, что глобальные усилия по уменьшению выбросов CO_2 могут предотвратить ход событий по сценарию, предсказываемому на 2080 г. Однако вряд ли удастся избежать прогноза на 2050 г., поскольку замедление роста температуры отстает от накопления в атмосфере CO_2 на десятилетия.

Герпетологи считают, что ящерицы уже пересекли порог на пути к исчезновению, вызванному изменением климата.

Science. 2010. V.328. №5980. P.894—899 (США).

Геология. Геотектоника

Океанические бассейны в предыстории Северного Ледовитого океана

Занимаясь реконструкцией геодинамики Северного Ледовитого (Арктического) океана в позднемезозойское-кайнозойское время, ученые сталкиваются с необходимостью определить: возник ли этот океан как наследник более древних бассейнов или развивался независимо от них. Для решения этой проблемы требуется выявить в Арктическом регионе индикаторы более древних бассейнов. Сложность реконструкции докембрийско-палеозойских океанов (преобразовавшихся затем в орогенические пояса соответствующего возраста) в том, что когда-то

они существовали совершенно в других, не арктических широтах, а в высокие широты фрагменты этих орогенических поясов переместились позднее в ходе плейт-тектонических движений.

Геологи В.Е.Хаин и Н.И.Филатова (Геологический институт РАН), проведя синтез геолого-хронологических данных, установили, что в Арктическом регионе имеются свидетельства распространения океанической коры следующих возрастов: мезопротерозойского (гренвильского), поздненеопротерозойского (байкальского), палеозойского (каледонского и герцинского), среднепалеозойского-позднеюрского (позднекиммерийского); океанические бассейны современного Северного Ледовитого океана начали формироваться в позднеюрское время. Главное внимание авторы исследования сосредоточили на характеристике докембрийских-среднепалеозойских океанов как наиболее трудно реконструируемых.

Мезопротерозойский океан возник при распаде палеопротерозойского суперконтинента Пангея I (или Колумбия), оформившегося 1.9—1.7 млрд лет назад. Океан развивался в течение раннего и среднего мезопротерозоя, но около 1.2 млрд лет назад началось его замыкание, продолжавшееся около 400 млн лет. Закрытие океана сопровождалось сближением кратонов, их коллизией и оформлением гранулит-гнейсового орогенического пояса, спаявшего эти кратоны в суперконтинент Родиния 1.2—0.9 млрд лет назад. Расположение будущих кратонов Сибирский, Арктида и Лаврентия на этом этапе трактуются неоднозначно.

При разрушении Родинии под воздействием нижнемантийного суперплюма возник поздненеопротерозойский океан; его индикаторами служат многочисленные дайки и силлы габбро-долеритов возрастом 1000—700 млн лет, прослеженные от Кольского п-ова до Новой Земли и Полярного Урала. Около 850 млн лет назад континентальный рифтогенез трансформировался в океанический спрединг с обособлением континентов Лаврентия, Балтика, Арктида и Сибирь. Одна из субмеридиональных ветвей этого океана, видимо, протягивалась между Арктидой, Лаврентией и Сибирью, уходя на юг (по древним координатам) между Амазонией и Балтикой. Байкальский орогенический пояс, возникший при замыкании океана и столкновении Балтики-Сибири с Арктидой и Лаврентией, фрагментарно прослеживается в Арктике от Шпицбергена до Аляски.

В западной Арктике в этот пояс входят структуры протоуралид-тиманид, которые протягиваются по шельфу Баренцева и Карского морей, вскрываются на Шпицбергене и в Норвегии, а также в фундаменте Тимано-Печорского бассейна и на западе Урала. Коллизионные процессы при закрытии этого океана происходили длительное время и в конце неопротерозоя завершились несогласным залеганием кембрийских отложений на деформированных породах протоуралид-тиманид. Развитая здесь вулкано-плутоническая ассоциация, включающая калиевые гранитоиды возрастом 515—500 млн лет, скорее всего, говорит о начале новой деструкции объединившихся континентов.

В восточной Арктике фрагменты неопротерозойского орогенического пояса (в частности, габбро и габбро-долериты возрастом 700 млн лет) зажаты между континентальными блоками Арктиды. Амфиболитовые породы возрастом 592—547 млн лет известны на шельфе Чукотского моря, в гранито-гнейсовых куполах Чукотки, на севере Аляски. Этап замыкания океана был здесь, как и в западной Арктике, продолжительным, о чем свидетельствует возрастной интервал (750—547 млн лет) синколлизионных гранитоидов, превращенных впоследствии в ортогнейсы. Эрозия байкальских орогенов привела к широкому распространению позднедокембрийского обломочного циркона. При закрытии неопротерозойского океана, вероятно, произошло объединение континентов Лаврентия, Арктида, Балтика и Сибирский. Однако эти кратоны были вновь разобщены на рубеже неопротерозоя и кембрия при возникновении океана Япетус.

Каледонский океан Япетус простирался между кратонами Лаврентия и Балтика на север от 30°ю.ш. По данным сейсмопрофилирования предполагаются две более северные ветви океана: одна отделяла Арктику от северной Гренландии и Канадского Арктического архипелага, другая, простираясь между Арктидой и Сибирью, могла соединяться с открывшимся в ордовике Уральским бассейном, разделившим Балтику и Сибирь. Еще одно ответвление Япетуса прослеживается к востоку от Сибирского кратона. В ходе замыкания этого океана, протекавшего в две фазы, его кора погрузилась под окраину Лаврентии. Оформившийся в результате каледонского орогенеза континент Лавруссия объединил кратоны Лаврентия, Арктида, Сибирский и Балтика; два последних разделялись Уральским бассейном — ответвлением Палеоазиатского океана. В карбоне все эти кратоны вместе с орогеническими поясами, постепенно перемещаясь, достигли современных широт.

Герцинский океанический бассейн представлял собой окончание Уральского океана; ныне он состоит из двух сегментов — Новоземельского и Таймырского. До конца палеозоя в ходе замыкания Палеоазиатского (включая Уральский) океана продолжалось стягивание континентов в суперконтинент Пангея II. В позднедевонское—раннекаменноугольное время Пангея II подверглась интенсивному рифтогенезу под воздействием нижнемантийного суперплюма.

Среднепалеозойский-позднеюрский Алазейский-Южно-Анюйский-Ангаючамский океан, распространившийся в северную Лавразию как залив Пацифика, заканчивался бассейном Оймякон, возникшим при расколе края Сибирского кратона. Спрединг в этом океане сопровождался образованием разновозрастных островных дуг, фрагменты которых позднее вошли в состав среднемеловой Верхояно-Колымской коллизионной системы.

Появление позднеюрских-кайнозойских океанических бассейнов Северного Ледовитого океана связано с воздействием на циркумполярную область Пангеи арктического суперплюма. Среднемезозойский этап рифтогенеза в Арктике завершился спредингом в Канадском бассейне. Его раскрытие компенсировалось в эпоху среднего мела замыканием Алазейского-Южно-Анюйского-Ангаючамского океана.

Канадский бассейн — первый «малый океан» Северного Ледовитого — представляет собой крайнее северное окончание Атлантического океана. Синхронные с ним начальные спрединговые зоны центральной Атлантики в совокупности наметили общий тренд будущей системы мезозойско-кайнозойских спрединговых хребтов Атлантики, нарушивших палеозойскую Пангею.

В целом, делают вывод авторы, возникший при распаде Пангеи II Северный Ледовитый океан, составивший единую систему с Атлантикой, не имеет признаков генетической преемственности от более древних океанов.

Доклады Академии наук. 2010.Т.432. №6. С.792—796 (Россия).

Океанология

Разрушение глубоководных метановых пузырей

В атмосфере наблюдается постоянный рост концентрации метана, что может влиять на климат Земли и состояние ее озонового слоя. Вместе с тем известно, что значительные запасы метана сосредоточены в глубоководных донных осадках морей и океанов. В какой степени океанический метан может проникать в атмосферу и какими путями — этот важнейший вопрос механики массопереноса метана изучали сотрудники Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН (А.В.Егоров, Р.И.Нигматулин, Н.А.Римский-Корсаков, А.М.Сагалевич, Е.С.Черняев) и Института проблем механики им.А.Ю.Ишлинского РАН (А.Н.Рожков).

Во время экспедиции РАН «“Миры” на Байкале. 2008—2009»[1] были проведены глубоководные эксперименты с пузырями метана, всплывающими со дна озера на глубинах 1400 и 860 м. Одна из уникальных особенностей Байкала — наличие значительных водных масс с низкой температурой, находящихся под высоким давлением из-за большой глубины озера. Другая важная особенность — существование источников выхода метана из донного осадка в гидросферу в виде пузырей. Сочетание этих особенностей делает возможным использовать Байкал в качестве естественной лаборатории для изучения процесса образования газогидратных соединений из пузырей газа в термобарических условиях, отвечающих устойчивости газовых гидратов.

В ходе экспериментов пузыри улавливались ловушкой, имевшей форму перевернутого стакана. Попав в стакан, они покрывались газогидратной оболочкой и через несколько минут разрушались на множество твердых газогидратных фрагментов. Благодаря положительной плавучести эти ледяные газогидратные частицы концентрировались под потолком ловушки, образуя слой сыпучей среды. В то же время остававшийся в пузыре газ создавал новую газогидратную оболочку, которая снова могла разлагаться на твердые фрагменты. Цепь таких разрушений протекает до тех пор, пока весь газ пузыря не израсходуется на создание газогидратных частиц. Так был обнаружен неизвестный ранее процесс хрупкого разрушения глубоководных метановых пузырей.

На следующем этапе осуществлялся мониторинг состояния газогидратной сыпучей среды при всплытии ГОА «Мир» и переходе через границу зоны стабильности газовых гидратов. Постепенно вся твердая фаза перешла в газ, который из-за падения гидростатического давления заполнил ловушку и начал выходить наружу.

[1] *Сагалевич А.М.* «Миры» на Байкале // Природа. 2009. №12. С.77—78; Выходы газов на Байкале // Природа. 2010. №3. С.83—84.

Итак, за границей термобарической устойчивости газовых гидратов наблюдается разложение газогидратной сыпучей среды и превращение ее в свободный газ метан.

Океанология. 2010. Т.50. №4. С.505—514 (Россия).

Геофизика

Изменение климата повлияет на азиатские «водонапорные башни»

«Водонапорные башни» юго-восточной Азии — это горы, чьи ледники питают крупные реки региона. Сотрудники отдела физической географии Утрехтского университета (Нидерланды) оценили, как влияет изменение климата Тибетского плато и смежных горных цепей на гидрологию крупнейших речных бассейнов — Инда, Ганга, Брахмапутры, Янцзы и Желтой реки. Эти бассейны, от вод которых зависит жизнь около 1.4 млрд человек (20% мирового населения), значительно различаются по площади, объему питающих их ледников, климатическим характеристикам, плотности населения, развитию ирригационной сети и пр.

У Инда доля ледникового питания составляет 151% от объема воды, получаемой из других источников, у Брахмапутры — 27%; вклад воды ледников в баланс Ганга, Янцзы и Желтой реки ограничен лишь 8—10%. В верховьях Ганга запасы снега и льда в последнее десятилетие сокращаются, в бассейне Инда, напротив, увеличиваются. В других бассейнах однозначные тенденции не выявлены.

К 2050 г. при сохранении современной динамики температур и количества осадков ожидается уменьшение доли ледникового питания почти во всех бассейнах; отчасти оно будет компенсировано увеличением ливневых осадков в верхних течениях рек. Однако совокупный расход воды сократится на 5.2—19.6% у всех рек, кроме Желтой, где за счет значительного усиления ливневых осадков он может даже возрасти на 10%. Тем не менее суммарное снижение расходов воды отразится

на жизни 4.5% населения региона, которые не будут обеспечены продовольствием.

Исследователи заключают, что последствия, связанные с изменением климата, вероятно, будут самыми серьезными в бассейнах Инда и Брахмапутры из-за большой численности населения и высокой его зависимости от орошаемого земледелия и, тем самым, от воды ледников. В бассейне Желтой реки изменение климата может, напротив, привести к положительному эффекту.

Science. 2010. V.328. №5984. P.1382—1385 (США).

Палеонтология

Терморегуляция древних морских рептилий

Вымершие хищные рептилии — ихтиозавры, плезиозавры и мозазавры — в мезозойскую эру населяли моря и океаны Земли от экватора до высоких широт. Находки останков этих животных в приполярных водах и реконструкция климатов триасового и мелового периодов позволили предположить, что древние пресмыкающиеся имели более высокий уровень метаболизма, чем их современные морские родственники (черепахи и крокодилы), и могли переносить низкие температуры. Исключительный эволюционный успех вымерших хищников, оказавшихся на вершине мезозойских водных сообществ, возможно, был основан на способности к терморегуляции. Каковы же были температура тела и терморегуляционные стратегии у древних морских рептилий?

Французские и датские палеонтологи во главе с А.Бернард (A.Bernard; Лионский университет, Франция) попытались определить термофизиологический статус ихтиозавров, плезиозавров и мозазавров по содержанию тяжелого изотопа кислорода ($\delta^{18}O$) в эмали их зубов. Концентрация $\delta^{18}O$ в тканях животных зависит от температуры тела, а у рыб, например, достоверно характеризует термические условия среды обитания[1]. Поэтому у водных животных, существовавших в одно время и на сходной глубине, разные значения $\delta^{18}O$ в костях должны отражать различия в температуре их организмов.

Исследователи проанализировали 80 образцов тканей рыб и рептилий из осадочных отложений одного возраста. Оказалось, что ихтиозавры и плезиозавры в большей, а мозазавры — в меньшей степени обладали активной терморегуляцией. Температура тела у изученных видов ихтиозавров и плезиозавров составляла 35±2°С, у мозазавров — до 39±2°С. Рассчитанные значения свидетельствуют о высоком уровне метаболизма, который необходим для хищничества и быстрого передвижения на значительные расстояния даже в холодных водах. Это соответствует предположениям палеозоологов о том, что ихтиозавры и плезиозавры были хищниками-преследователями, а большинство мозазавров — хищниками подстерегающими, что не требует высокого метаболического уровня на протяжении длительного времени.

Полученные результаты свидетельствуют, что способность поддерживать постоянную температуру тела независимо от температуры окружающей среды проявлялась в разной степени в семействах и подклассах всех трех групп древних рептилий. Это указывает на существование у них внутреннего генератора температуры, позволявшего животным обитать даже в холодных (10—14°С) водах.

Science. 2010. V.328. P.1379—1382 (США).

Археология

Стоянкам людей на Новой Гвинее 49 тысяч лет

Расселение человека из Африки по земному шару началось около 200 тыс. лет назад. На древний континент Сахул (Sahul), объединявший в плейстоцене Новую Гвинею, Австралию и Тасманию, люди проникли через Юго-Восточную Азию, как еще недавно считалось, 30 350—32 580 лет назад. Именно таким возрастом датированы самые ранние стоянки человека в Новой Гвинее. Археологические находки последних лет позволили уточнить время появления людей в Меланезии, реконструировать историю ее освоения и даже выявить гастрономические предпочтения колонистов.

Исследователи из Новой Зеландии, Папуа—Новой Гвинеи и Австралии установили, что люди жили в Новой Гвинее уже 49 000—44 000 лет назад. Любопытно, что первоначально они освоили не побережье, а удаленные от моря горные районы (около 2 тыс. м над ур.м.). Археологи считают, что колонистов привлекла туда специфическая пища. На стоянках найдены растительные остатки — в основном ямсов (*Dioscorea alata, D.nummularia, D.pentaphylla* и *D.bulbifera*) и высокогорного дикого ореха панданус, а также костные остатки мелких животных. Панданус в изобилии рос у мест расположения стоянок, а ямсы — значительно ниже. По мнению исследователей, именно панданус, богатый растительными жирами и белками, был основным и самым важным компонентом рациона ранних колонистов, его дополняли животная пища и ямс — источник крахмала. Каменные артефакты свидетельствуют о том, что человек, специально расчищая участки земли от деревьев с помощью примитивных инструментов, мог даже стимулировать рост пищевых растений.

Климат периода заселения Сахула был чуть прохладнее современного. Во времена последнего ледникового максимума (около 20 тыс. лет назад) температуры еще более снизились по сравнению с началом колонизации — средние их значения в самые холодные месяцы достигали только 6.3—9.2°С. Это повлекло за собой снижение уровня моря и значительный сдвиг растительных поясов вниз. Вот почему первые стоянки оказались в горах, а по мере падения уровня моря человек спускался из высокогорья в прибрежные районы.

Science. 2010. V.330. №6000. P.78—81 (США).

---

[1] *Longinelli A.* // Geochim. Cosmochim. Acta. 1984. V.48. P.385; *Kolodny Y. et al.* // Earth Planet. Sci. Lett. 1983. V.64. P.398.

Больше чем учебное пособие

Академик В.С.Урусов,
доктор химических наук
Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Бывают разного типа учебники. Порой это чисто учебное изложение основных положений той или иной научной дисциплины. Они выполняют важную функцию передачи подрастающему поколению суммы знаний, накопленных человечеством. Их ценность зависит от полноты и логичности представленного материала. Но есть и такие учебные пособия, где наряду с изложением традиционного материала поднимаются вопросы, находящиеся на острие современного научного знания. В одной из статей академик А.Г.Несмеянов применил образное сравнение продвижения научных новинок со штурмом многоэтажного здания. Накопление фактов — это распространение по этажу, новое их осмысление — прорыв на следующий этаж. Этот подход к пониманию взаимосвязи природных объектов как целостной системы, заложенный еще академиком В.И.Вернадским, мы наблюдаем в последнее время. Именно методология Вернадского, стремление увязать в единое целое достижения различных областей научного знания, положена в основу учебного пособия, написанного доктором геолого-минералогических наук профессором Г.Б.Наумовым.

В своей статье «О Гёте» Вернадский писал: «Синтетическое изучение объектов природы — ее естественных тел и ее самой как “целого” — неизбежно открывает черты строения, упускаемые при аналитическом подходе к ним, и дает новое. Этот синтетический подход характерен для нашего времени в научных и философских исканиях». Эпиграфом к книге служит цитата из его трудов: «Долгое время не возбуждало никакого сомнения представление, что химический состав земной коры обусловливается чисто геологическими причинами. <...> Сейчас выясняются в химическом составе земной коры закономерности, которые в корне противоречат этим объяснениям».

К сожалению, почти сразу после ухода из жизни великого ученого мощно выдвинутые им проблемы биогеохимии отошли на второй план. На первое место вышли такие мегапроекты, как атомная и углеводородная энергетика и освоение космического пространства, в которых геохимия сыграла далеко не последнюю роль. Постепенно из преподавания в высшей школе стали выпадать главы, посвященные биогеохимическим проблемам.

Существует целый ряд отечественных и переводных учебников по геохимии. В них, вслед за классическими трудами А.Е.Ферсмана конца 30-х годов прошлого века, детально рассматривается геохимия косного (неживого) вещества. Неслучайно последний учебник академика В.А.Жарикова так и называется — «Физическая геохимия» (2005). В нем на высоком уровне продолжается линия физической геохимии, развивавшейся такими классиками этой науки, как В.М.Гольдшмидт, В.Ю.Эйтель, В.В.Щербина и др., но практически не затрагивается геохимическая роль «живого вещества». Учебники В.В.Добровольского (1998), А.С.Орлова и О.С.Безгубо-



Г.Б.Наумов. ГЕОХИМИЯ БИОСФЕРЫ: Учебное пособие для студентов учреждений высшего профессионального образования.

М.: Издательский центр «Академия», 2010. 384 с.

ва (2000), В.А.Алексеенко (2000, 2005) ориентированы главным образом на живое и биокосное вещество биосферы. Н.Г.Комарова и О.А.Пикалова (2004), как и многие другие, ставят в центр внимания вопросы экологии. В учебнике А.Б.Птицына (2006) сделана первая попытка охватить разные аспекты геохимии, от космохимии до экологии, но изложение неизбежно страдает фрагментарностью.

Новая книга Наумова впервые систематически объединяет эти два направления. Автор ставит и в целом успешно решает две взаимосвязанные задачи: во-первых, познакомить учащихся с основными принципами и современным состоянием геохимии, и во-вторых, создать у читателей целостную картину мира с циклическим перемещением вещества и энергии. Подобный подход к изложению естественнонаучных дисциплин, к сожалению, редко встречается в учебной литературе. Выбор его и реализация в данном учебном пособии — несомненная заслуга автора.

По существу это — общая геохимия, в центр которой поставлена биосфера. Рассмотрены вопросы положения Земли в космическом пространстве, распространенности и закономерностей распределения элементов и их изотопов, форм их нахождения, механизмов миграции и концентрации на геохимических барьерах. Данные классической физической геохимии представлены во взаимосвязи с материалами биогеохимии и ряда смежных научных дисциплин, термодинамики, в том числе термодинамики живого вещества, рассмотренной с позиций неравновесных процессов, энергетики и информатики. При этом особое внимание уделено трем основным составляющим биосферы — косному, живому и социальному — и их взаимодействию в ходе эволюции нашей планеты.

Самостоятельная глава посвящена методологии естественнонаучных исследований, где достаточно глубоко и просто изложены подходы Вернадского к анализу сложных природных явлений, его отношение к эмпирическим фактам, обобщениям и научным объяснениям. Подобного раздела мы не найдем в других пособиях по геохимии. Этот материал не только полезен, но и необходим для целостного подхода к анализу природных явлений.

Вся вторая часть книги, включающая шесть глав, посвящена вопросам космической распространенности элементов, состава и строения земных геосфер, особенностям распределения элементов в природных объектах. Даны особенности геохимии атмосферы, гидросферы и литосферы, их взаимопроникновение и химические связи между ними. В отдельной главе рассмотрены особенности геохимии стабильных и радиоактивных изотопов, их роль в современной интерпретации геологических процессов и основы методов исчисления геологического возраста.

По ходу изложения материала активно привлекаются фундаментальные принципы естествознания: диссимметрии, наследственности, целостности, цикличности, обратных связей. Анализ геохимических циклов разных масштабов позволяет представить всю грандиозность перемещения вещества в масштабе геологического времени. Именно эта несоразмерность привычного нам исторического времени и геологического времени, измеряемого сотнями миллионов лет, обычно затрудняет понимание масштабности геологических процессов. При рассмотрении процессов миграции, рассеяния и концентрации элементов в земной коре широко используется теория геохимических барьеров самых разных типов. Это особенно важно для анализа процессов рудообразования и изменения экологических состояний геологической среды. Последним вопросам посвящены специальные главы книги, раскрывающие подходы Вернадского к проблемам перехода биосферы в ноосферу с появлением новой геологической силы мыслящего человечества.

Рассматривая вопросы термодинамики природных процессов, автор не ограничивается классическими законами равновесной термодинамики. Книга знакомит читателя с современными подходами к открытым диссипативным системам И.Пригожина, особенностями освобождения от энтропии в метаболизме живых организмов, впервые выявленными великим физиком Э.Шредингером, без чего трудно понять то новое, что быстро развивается в исследованиях сложных природных систем. Все эти малознакомые даже многим научным работникам «новации» изложены достаточно просто и понятно.

Вся третья часть посвящена явлениям геологического круговорота вещества и энергии земной коры. Подробно рассмотрены процессы миграции химических элементов в конкретных геологических обстановках. Здесь автор существенное внимание уделяет формам их нахождения в минералах и горных породах, от которых зависит их подвижность или инертность, изменениям в процессах эпигенетических преобразований горных пород, поведению мигрантов в водных растворах, влиянию явлений комплексообразования на перенос рудных компонентов. Приводятся последние количественные данные по температурам и давлениям формирования различных групп геологических тел. Широко используются последние экспериментальные данные по миграции при повышенных температурах и давлениях. Интересны материалы по механизмам диффузии в горных породах как многофазных системах, где миграция происходит по поверхностям мине-

ральных фаз, и ее интенсификации при повышении температуры и в вибрационных полях, характерных для тектонически активных областей.

Самостоятельный интерес представляют разделы, посвященные эволюции биосферы, ее переходу в ноосферу и путям дальнейшего ноосферного развития, органично связанные со всем предыдущим материалом. Здесь рассмотрены современные подходы к явлениям эволюции земной коры, кратко обозначены подходы к происхождению жизни с позиций теории самоорганизующихся систем. Приведены количественные данные по изменению состава атмосферы, ее оксигенизации и данные академика А.Ю.Розанова о связи этих явлений с появлением разных групп организмов в истории Земли. Показано, что в этом аспекте эволюция видов — лишь один из элементов эволюции биосферы как системы, а любой вид существует только в симбиозе, в ландшафте, в географических (по сути — физико-химических) условиях. Сформулированы основные принципы развития биосферы, намеченные еще Вернадским. Уделено внимание геологическим ритмам и их связи с ритмами космическими, информационному обмену между естественными природными системами.

Особый этап развития биосферы, связанный с появлением человека, рассматривается в специальной главе. «В биосфере существует великая геологическая, быть может, космическая, сила... — писал В.И.Вернадский в 1925 г. — Эта сила, по-видимому, не есть проявление энергии или новая особенная ее форма. Она не может быть, во всяком случае, просто и ясно выражена в форме известных нам видов энергии... Эта сила есть разум человека, устремленная и организованная воля его, как существа общественного». На анализе истории технического развития цивилизации, имеющего экспоненциальный характер, показано, почему именно сейчас наиболее остро встают экологические проблемы. В то же время раскрываются принципиальные отличия подходов Вернадского, рассматривавшего человека как порождение биосферы, от подходов его предшественников (А.П.Павлова, Д.Н.Анучина, И.М.Гревса, П.Т.Шардена, Э.Ле-Руа и др.). В этой трактовке человек «не *управляет* развитием ноосферы, а только *участвует* в ее эволюции». Разница в этих подходах влияет не только на развитие теоретической мысли, но и на направленность непосредственной практической деятельности.

В завершающей главе рассматриваются возможные пути дальнейшего развития ноосферы. Показано, что чисто технические подходы к решению экологических проблем, не учитывающие естественных законов природы и истории развития биосферы, не способны привести к положительным результатам. Рассматриваются наиболее рациональные пути нивелирования глобальных и локальных неблагоприятных ситуаций. Важно, что эти пути не только декларируются, но и рассматриваются на конкретных примерах. Завершается глава словами академика Н.Н.Моисеева: «Знание — это единственная форма коллективной собственности, которая только умножается, если ею будут пользоваться люди».

Такой подход к геохимическим проблемам полностью соответствует методологии В.И.Вернадского, Н.В.Тимофеева-Ресовского, Н.Н.Моисеева и в наибольшей степени отвечает текущим проблемам наших дней. Из этого материала становится ясно, что современные экологические вопросы не могут успешно решаться без учета общих законов геохимии и особенностей геохимического строения конкретных регионов.

Необходимо отметить, что данное учебное пособие не только содержит все материалы, необходимые для обучения, но и развивает геохимическое мышление, дает современное геохимическое образование, что позволяет сделать «прорыв на следующий этаж». В этом отношении оно восполняет тот пробел, который образовался в последнее время в учебной геохимической литературе.

Учебник, несомненно, написан на хорошем научном уровне, представляет собой ценное собрание новейших сведений о геохимии вообще и биосферы в частности, и позволит учащимся познакомиться с учением В.И.Вернадского и достижениями новейшей геохимической мысли. Такое напоминание особенно своевременно сейчас, в период подготовки научной общественности к 150-летию (в 2013 г.) этого великого мыслителя и естествоиспытателя. ■

Математика. Физика

И.Стюарт. ИСТИНА И КРАСОТА: ВСЕМИРНАЯ ИСТОРИЯ СИММЕТРИИ / Пер. с англ. А.Семихатова. М.: Астрель; CORPUS, 2010. 461 с.

Понятие симметрии лежит в основе представлений человека о гармонии и красоте; помимо этого, симметрия играет важную роль в математике, а основные ее принципы поразительным образом проявляют себя в фундаментальных физических законах.

На протяжении многих веков симметрия оставалась ключевым понятием для художников, архитекторов и музыкантов, однако в XX в. ее глубинный смысл оценили также физики и математики. Именно симметрия сегодня лежит в основе таких фундаментальных физических и космологических теорий, как теория относительности, квантовая механика и теория струн. Иэн Стюарт, британский математик с мировым именем, прослеживает пути изучения симметрии и открытия ее основополагающих законов, начиная с древнего Вавилона и заканчивая современной наукой. Эксцентричный Джироламо Кардано, первым решивший кубическое уравнение, революционер Эварист Галуа, в одиночку создавший теорию групп, Уильям Гамильтон, нацарапавший свое открытие на каменной кладке моста, и великий Альберт Эйнштейн — судьбы этих неординарных людей и блестящих ученых служат тем эффектным фоном, на котором разворачивается один из самых захватывающих сюжетов в истории науки.

Значительная часть книги описывает поиск решений алгебраических уравнений. Может показаться, что это сугубо технический момент, однако в действительности это увлекательное приключение, многие из ключевых участников которого прожили необычные и драматические жизни.

Океанология

СИСТЕМА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ И ПРИЛЕГАЮЩИХ МОРЕЙ АРКТИКИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ / Отв. ред. Х.Кассенс, А.П.Лисицын, Й.Тиде, А.Е.Полякова, Л.А.Тимохов, И.Е.Фролов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009. 608 с.

В книге представлены результаты 15-летних совместных российско-германских многодисциплинарных исследований в Арктике, полученные в ходе большого числа морских и наземных экспедиций, а также круглогодичных измерений и наблюдений.

Российско-германское сотрудничество представляет собой образец взаимовыгодной, прогрессирующей и доверительной совместной работы в Арктике, в которой технические и финансовые возможности, а также научный потенциал исследователей обеих сторон рационально дополняют друг друга для решения фундаментальной проблемы современных преобразований природной среды и климата в суровых и труднодоступных регионах Арктики и разработки сценариев изменения региона под воздействием природных и антропогенных процессов.

На основе современных методов исследований, включая спутниковые наблюдения, радиоуглеродное датирование осадков арктических морей, изотопные, биохимические и другие методы, авторами получены уникальные материалы. В главных разделах коллективной монографии приводятся новейшие данные о современных седиментационных, гидрологических, ледовых и гидробиологических процессах в арктических морях, а также об эволюции многолетнемерзлых пород, палеосреды морей и прилегающей суши.

Книга издана на русском языке, что дает возможность ознакомить широкую российскую аудиторию с результатами объединенных исследований. Позднее монография будет переведена на английский язык для международного научного сообщества.

Космология

А.Виленкин. МИР МНОГИХ МИРОВ: ФИЗИКА В ПОИСКАХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВСЕЛЕННЫХ / Пер. с англ. А.Сергеева. М.: АСТ; Астрель; CORPUS, 2010. 303 с. (ЭЛЕМЕНТЫ).

Все мы живем в остатках огромного взрыва, случившегося 14 млрд лет тому назад и положившего начало нашей Вселенной. Однако, что предшествовало этому грандиозному событию? И какова вероятность того, что помимо нашего мира где-то существуют другие? Автор этой популярно написанной книги, физик, профессор университета Тафтс (США) Алекс Виленкин знакомит читателя с последними научными достижениями в космологии и излагает собственную теорию, доказывающую возможность — и, более того, вероятность — существования бесчисленных параллельных вселенных. Выводы из его гипотезы ошеломляют: за границами нашего мира раскинулось множество других миров, похожих на наш или принципиально иных, населенных неизвестными созданиями или существами, похожими на людей. Идеи Виленкина оказались настолько убедительными и в то же время революционными, что мгновенно превратили скромного ученого в звезду популярных ток-шоу, а его книгу — в международный бестселлер, получивший огромный общественный резонанс.

Самый спорный момент в книге — это утверждение автора, что каждый из нас имеет бесконечное число идентичных клонов, живущих на бесчисленных землях, разбросанных по Вселенной. Опираясь на свою теорию, Виленкин также предсказал, что у кого-то его книга будет иметь феноменальный успех, а где-то ее ждет полный провал.

История науки

ИСТОРИКО-АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. ВЫП. XXXIV / Отв. ред. Г.М.Идлис. М.: Физматлит, 2009. 348 с.

34-й выпуск «Историко-астрономических исследований», подготовленный в Институте истории естествознания и техники им. С.И.Вавилова РАН, продолжает традицию предыдущих. Здесь опубликованы исследования по различным проблемам истории отечественной и мировой астрономии. Значительное место, как обычно, занимает история российской астрономии.

Среди наиболее интересных тем: новейшая история каталогов переменных звезд, Леонард Эйлер и Петербургская астрономическая школа XVIII в., история и современные математические параллели закона планетных расстояний Тициуса—Боде, жизнеописание известного российского астронома и математика XIX в. Д.М.Перевощикова, к 100-летию со дня рождения выдающегося астрофизика В.А.Амбарцумяна. Ряд статей посвящен истории древней и средневековой астрономии: лунное божество Нанна в Древней Месопотамии 3-го тысячелетия до н.э., изображение бога Сераписа на египетских зодиаках римского времени, первые астрономические таблицы на Руси, лунарные и солярные символы онежских петроглифов и многое другое.

Издание предназначено для научных работников, любителей и преподавателей астрономии и читателей, интересующихся историей науки.

История науки

Н.В.Карлов. КНИГА О МОСКОВСКОМ ФИЗТЕХЕ. М.: Физматлит, 2009. 600 с.

Книга посвящена истории создания и становления Московского физико-технического института (МФТИ) — легендарного Физтеха. Это был вуз нового типа, быстро ставший необходимым элементом государственной системы подготовки научно-инженерных кадров для работы в исследовательских институтах Академии наук СССР и в технически передовых отраслях промышленности. Вся научная работа студентов и выпускников Физтеха (одним из них был и автор книги), в конечном счете, стала работой в интересах обороны страны. Таков был категорический императив того времени.

Успешный опыт Физтеха по подготовке научных кадров высочайшей квалификации для насыщения новых направлений науки и техники может быть интересен и сейчас, когда и страна, и ее окружение стали совершенно другими, но национальные интересы по существу остались прежними.

История науки

И.М.Халатников. ДАУ, КЕНТАВР И ДРУГИЕ. TOP NON-SECRET. М.: Физматлит, 2009. 192 с.

В книге известного физика-теоретика И.М.Халатникова рассказывается о жизни физиков в «золотом веке», когда шло соревнование между физиками и лириками за влияние на умы. Среди кумиров молодежи чаще других звучали имена Л.Д.Ландау и П.Л.Капицы. Уже при жизни о них складывались легенды.

Автор работал вместе с Ландау в рамках Атомного проекта в Институте физпроблем, руководимом П.Л.Капицей.

После смерти Ландау Халатников основал Институт теоретической физики, носящий имя Ландау. Этот институт сыграл решающую роль в сохранении школы Ландау и развитии теоретической физики в мире.

Рассказ о том, как создавали институт, как он работал, поможет понять читателю, как в условиях неполной свободы мог успешно функционировать коллектив, где царила атмосфера духовного и научного братства. Возникает вопрос: в чем секрет кажущегося противоречия? Никакого секрета нет. Книга об этом.

МОИП и Бородинское сражение

А.П.Садчиков,
доктор биологических наук
Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

В 2012 г. наша страна будет отмечать 200 лет со дня начала Отечественной войны 1812 г. и Бородинского сражения. В России не так уж много найдется организаций, члены которых принимали участие в войне 1812—1814 гг. и тем более в Бородинском сражении. Среди таких организаций достойное место занимают Московский университет и Московское общество испытателей природы (МОИП), члены которых достойно защищали Москву от войск Наполеона. Многие из них в дальнейшем оставили яркий след в истории нашей страны, в развитии науки и образования, поэзии и искусстве.

Для начала необходимо немного рассказать о самом Обществе, которому в 2010 г. исполнилось 205 лет. Московское общество испытателей природы было организовано в 1805 г. по инициативе профессоров Московского университета. Интересно, что среди учредителей Общества был студент первого курса Алексей Перовский — будущий писатель, который в то время увлекался естествознанием. Он публиковал свои литературные произведения под псевдонимом Антоний Погорельский и был популярен в XIX в. Он дружил с А.С.Пушкиным, ему принадлежит ряд статей в защиту «Руслана и Людмилы» от нападок критиков. Для современного читателя имя Погорельского, прежде всего, связано со сказочной детской повестью «Черная курица, или Подземные жители», которая была написана в 1829 г. для десятилетнего мальчика — будущего поэта, писателя А.К.Толстого.

В 1807 г. Общество получило статус «Императорского», что означало в дальнейшем правительственную поддержку и покровительство. Общество с первых дней существования поставило грандиозную задачу — исследование и описание Московской губернии. За короткий срок небольшая группа ученых и студентов Московского университета изучила ряд районов этого региона. Были проведены зоологические и ботанические изыскания, изучение почвенного покрова, геологические и палеонтологические, топографические и гидрологические работы. Руководитель экспедиции профессор Г.И.Фишер фон Вальдгейм в русле р.Ратовки (г.Верея) обнаружил ратовтит — первый и единственный минерал, названный в честь объекта Московской обл. В 2009 г. МОИП отметил 200-летний юбилей этой экспедиции проведением научной конференции «Природные ресурсы и развитие Московского региона». Ее лейтмотив — для природы нет административных границ. К примеру, Смоленско-Московская возвышенность начинается и заканчивается далеко за пределами Московской обл. Участники конференции в своих выступлениях подчеркивали неразрывную связь Москвы, Подмосковья и других регионов страны. Для естествоиспытателей Московский регион — это географическое понятие.

МОИП достаточно быстро завоевал авторитет среди ученых, натуралистов и любителей природы. Со всей страны туда присылали различного рода естественно-научные экспонаты. Все собранное и полученное в дар изучалось, описывалось и передавалось в Московский университет и во вновь создаваемые научные учреждения. Пункты 6 и 7 Устава МОИП за 1837 г. гласили: «*Все объекты натуральной истории будут храниться в Московском университете. Объекты естественной истории включаются в музей университета только после полного изучения и описания*».

Понимая государственную важность деятельности МОИП, правительство освободило Общество от оплаты почтовых отправлений весом до одного пуда. И это было в 20-х годах XIX в. МОИП и его члены приняли участие в организации более полутора десятка научных учреждений, музеев, различных биостанций, в том числе — Московского зоопарка.

Членами Общества были выдающиеся ученые — Д.И.Менделеев, В.И.Вернадский, А.Е.Ферсман, Л.Д.Ландау, С.И.Вавилов, П.Л.Капица, Ч.Дарвин, А.Эйфель, А.Эйнштейн и много других. Вот что пишет Д.И.Менделеев после того, как в 1885 г. был принят почетным членом МОИП: «*...Общество испытателей природы... избрав меня в число своих сочленов, оказало мне такой почет, какого едва ли мне удастся заслужить в остальной моей деятельности*». Эти слова были сказаны, когда Дмитрий Иванович стал уже известным ученым с мировым именем и был избран почетным членом многих зарубежных обществ и академий.

В грандиозном сражении при Бородино (а также в военной кампании 1812—1814 гг.) принимали участие многие члены МОИП, и одна из задач Об-



И.Т.Родожицкий.

щества теперь — составить перечень лиц, которые принимали участие в войне с Наполеоном. Назову всего несколько имен, хотя их, несомненно, значительно больше.

Родожицкий Илья Тимофеевич (почетный член МОИП) — артиллерист, генерал-майор в отставке, ботаник, директор тульского оружейного завода. За бой в июле 1812 г. при местечке Островно он получил орден Св. Анны IV степени. В том же году был в сражении под Вязьмой. За 44 года службы прошел путь от младшего офицера до генерала. В 1835 г. издал «Походные записки артиллериста с 1812 по 1816 гг.». Среди естествоиспытателей известен как ботаник. Оставил 15-томное рукописное издание «Всемирная ботаника» и около полутора тысяч превосходно нарисованных акварельных рисунков растений. Все это хранится в библиотеке МОИП. В честь Радожицкого назван новый вид растения (*Radojitskia Turez*.).

Глинка Федор Николаевич (почетный член МОИП). В 1812 г. состоял адъютантом М.А.Милорадовича и принимал участие во всех главнейших сражениях, в том числе Бородинском, в боях при Тарутине, Малоярославце, Вязьме. В 1815—1816 гг. Глинка издал восемь частей «Писем русского офицера», в которые вошли описания войны 1812—1815 гг. Написал «Очерки Бородинского сражения». В 1819 г. получил чин полковника, заведовал канцелярией Милорадовича, когда тот был генерал-губернатором Петербурга. В 1824 г. написал романс «Тройка», который пользуется популярностью и поныне. Подарил МОИП более 250 географических карт, они хранятся в библиотеке МОИП.

Светлейший князь **Голицын Дмитрий Владимирович** — президент МОИП. Командовал 1-й и 2-й кирасирскими дивизиями 2-й армии на левом фланге Бородинского сражения. Воевать с Наполеоном начал еще в 1807 г., за что был награжден саблей с алмазами с надписью «За храбрость». Участвовал в походах 1813—1814 гг., где отличился под Кульмой (Богемия) и Лейпцигом, получил звание генерала от кавалерии. В 1820 г. назначен Московским военным генерал-губернатором, которым был вплоть до самой смерти в 1844 г. Награжден орденом Св. Андрея Первозванного и титулом Светлейшего князя. При нем в 1839 г. состоялась церемония закладки храма Христа Спасителя, осуществлена реставрация памятников Кремля, построены Малый театр (1824), новое здание Большого театра (1821—1824). В 1829 г. на «каменных быках» возведен постоянный Москворецкий мост, построены Триумфальные ворота (1829—1834). При Голицыне были открыты 1-я Детская больница, Глазная больница, 1-я Градская больница. Несмотря на большую занятость, Голицын с 1830 по 1835 г. был президентом Московского общества испытателей природы и поддерживал Общество материально.

Грузинов Илья Егорович (член МОИП) — 32-летний профессор медицинского факультета Московского университета, участвовал в войне врачом Московского ополчения, умер в январе 1813 г., заразившись тифом в армии. Во время анатомических работ на телах погибших солдат Бородинской битвы сделал научное открытие, что человеческий голос порождается мембранами трахеи.



Д.В.Голицын.

Когда Наполеон подошел к Москве, многие студенты и преподаватели Московского университета вступили в ополчение, организовали сбор денежных средств. Декан медицинского факультета профессор М.Я.Мудров отдал половину годового жалования, лечил раненых участников Бородинского сражения. Интересно, что Л.Н.Толстой ввел его в свой роман «Война и мир» как врача, лечащего главную героиню — Наташу Ростову. Он был домашним доктором родителей А.С.Пушкина.

Граф **Строганов Сергей Григорьевич** (президент МОИП 1835—1847 гг.) участвовал в Бородинском сражении в чине подпоручика, когда ему было всего 18 лет, а также в заграничных походах 1813—1814 гг. и взятии Парижа. Во время войны отличился в ряде сражений, за что получил орден Св. Владимира IV степени с бантом. В 1813 г. его произвели в капитаны. В 1859—1860 гг. был Московским генерал-губернатором. В 1825 г. основал первую в России бесплатную художественную школу, открытую для талантливых детей всех сословий (ныне Московская художест-

венно-промышленная академия им.С.Г.Строганова), несколько лет был ее директором. В честь Сергея Григорьевича назван род растений строгановия (*Stroganowia*) из семейства крестоцветных.

Жуковский Василий Андреевич — поэт, член МОИП. В августе 1812 г. был принят в Московское ополчение в чине поручика. В день Бородинской битвы находился со своим полком в резерве, затем был прикомандирован к штабу М.И.Кутузова. Жуковский написал стихотворение об Отечественной войне «Певец во стане русских воинов», которое принесло ему широкую популярность. В дальнейшем за участие в военной кампании получил звание штабс-капитана и орден Св. Анны.

* * *

Московское общество испытателей природы во все времена получало финансовую поддержку от государства. Нашествие Наполеона и сожжение Москвы, войны, революции не приостанавливали финансирование Общества государством. В 1918—1919 гг. (во время Гражданской войны) в работе МОИП возникли финансовые проблемы. Обратились за помощью непосредственно к В.И.Ленину, в результате было отдано распоряжение о выделении финансирования. Значительно позже, когда наркомпросовские работники пытались закрыть издание журнала «Бюллетень МОИП» (1930-е годы) — якобы из-за недостатка бумаги, — было направлено письмо председателю Совета народных комиссаров В.М.Молотову. В резолюции он написал наркому просвещения следующее: «*Не мешать, а всемерно поддерживать эту работу*». В результате журнал после непродолжительного времени начал снова регулярно выходить (является старейшим в мире, издается практически без перерыва 180 лет). Даже в трудные послевоенные годы Совет министров СССР 13 апреля 1946 г. (еще не прошел год после окончания страшной войны) принял специальное постановление, направленное на укрепление материальной базы МОИП.

Только в 90-е годы XX в. старейшее научное общество России перестало получать государственную поддержку, что очень прискорбно, в первую очередь — для самого государства и московского правительства.■



Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА
С.В.ЧУДОВ

Литературный редактор
Е.Е.ЖУКОВА

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
М.В.КУТКИНА
Л.М.ФЕДОРОВА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Российская академия наук, президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119049,
Москва, Мароновский пер., 26
Тел.: (499) 238-24-56, 238-25-77
Факс: (499) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 14.12.2010
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 952
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6

www.ras.ru/publishing/nature.aspx